

Museu Nacional

Universidade Federal do Rio de Janeiro

**COMPARAÇÃO INTERPOPULACIONAL DE CARACTERES MORFOLÓGICOS E
REPRODUTIVOS DO OURIÇO-DO-MAR *ARBACIA LIXULA* (LINNAEUS, 1758)
(ECHINODERMATA: ECHINOIDEA) EM DUAS LOCALIDADES DO LITORAL DO
ESTADO DO RIO DE JANEIRO.**



Paula Caetano Zama

Rio de Janeiro

2005

2005

COMPARAÇÃO INTERPOPULACIONAL DE CARACTERES MORFOLÓGICOS E
REPRODUTIVOS DO OURIÇO-DO-MAR *ARBACIA LIXULA* (LINNAEUS, 1758)
(ECHINODERMATA: ECHINOIDEA) EM DUAS LOCALIDADES DO LITORAL DO
ESTADO DO RIO DE JANEIRO.

Paula Caetano Zama

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação
em Ciências Biológicas (Zoologia) do Museu Nacional,
Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos
requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em
Ciências Biológicas (Zoologia).

Orientador: Dr. Carlos Renato Rezende Ventura

Rio de Janeiro

Julho/2005

Zoologia/MN 384

COMPARAÇÃO INTERPOPULACIONAL DE CARACTERES MORFOLÓGICOS E
REPRODUTIVOS DO OURIÇO-DO-MAR *ARBACIA LIXULA* (LINNAEUS, 1758)
(ECHINODERMATA: ECHINOIDEA) EM DUAS LOCALIDADES DO LITORAL DO
ESTADO DO RIO DE JANEIRO.

Paula Caetano Zama

Orientador: Dr. Carlos Renato Rezende Ventura

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Biológicas (Zoologia) do Museu Nacional, Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ciências Biológicas (Zoologia).

Aprovado por:

Presidente: Prof. Dr. Carlos Renato Rezende Ventura (MN – UFRJ)

Prof.^a Dra. Débora de Oliveira Pires (MN – UFRJ)

Prof.^a Dra. Helena Passeri Lavrado (IB – UFRJ)

Prof. Dr. Abílio Soares Gomes (IB – UFF) - suplente

Rio de Janeiro, julho de 2005.

Ficha Catalográfica

Zama, Paula Caetano.

Comparação interpopulacional de caracteres morfológicos e reprodutivos do ouriço-do-mar *Arbacia lixula* (Linnaeus, 1758) (Echinodermata: Echinoidea) em duas localidades do litoral do estado do Rio de Janeiro / Paula Caetano Zama. Rio de Janeiro: UFRJ/MN, 2005.

xv, 71 f.: il.; 29,7cm.

Orientador: Carlos Renato Rezende Ventura

Dissertação (Mestrado) – UFRJ/ MN/ Programa de Pós-Graduação em Ciências Biológicas, 2005. Referências Bibliográficas: f. 64 – 71.

1. *Arbacia lixula*. 2. Echinoidea. 3. Ciclo reprodutivo. 4..Morfologia. 5. Plasticidade fenotípica.

I. Ventura, Carlos Renato Rezende. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Museu Nacional. III. Mestrado

A meus pais, Bete e Bernardino, com muito
carinho!

“Ando devagar porque já tive pressa
E levo esse sorriso porque já chorei demais
Hoje me sinto mais forte, mais feliz, quem sabe
Eu só levo a certeza de que muito pouco eu sei
Eu nada sei

Penso que cumprir a vida seja simplesmente
Compreender a marcha e ir tocando em frente
Como um velho boiadeiro levando a boiada
Eu vou tocando os dias pela longa estrada eu vou
Estrada eu sou

Todo mundo ama um dia, todo mundo chora
Um dia a gente chega, no outro vai embora
Cada um de nós compõe a sua história
E cada ser em si carrega o dom de ser capaz
De ser feliz!”

Almir Sater e Renato Teixeira

AGRADECIMENTOS:

A Luciana Barreto Nascimento pelo apoio, indicação e por ser um exemplo a ser seguido!

Ao orientador Renato Ventura pelas oportunidades, pela determinação e principalmente por ter me recebido com tanto carinho e paciência!

Aos amigos do laboratório de Echinodermata: Elínia e Adriano pela força nos últimos minutos do segundo tempo; Renata Maria, pelas músicas, birritas e papos cabeça; Carla, por todos os momentos de bom e mau humor divididos; Beth, por animar nossas aulas e dividir conosco ansiedades e incertezas; Camila, pelas discussões, dicas e por ter mostrado o caminho; e principalmente Iuri e Renata Lima, pelo carinho, apoio, dedicação e por terem sido meus braços direito e esquerdo durante as coletas, sem vocês nada disso seria possível! Galera, vocês são inesquecíveis!!

As equipes dos laboratórios de Celenterologia e Carcinologia pelo apoio constante durante a realização desta dissertação. E em especial, aos professores Débora Pires e Clóvis Barreto por terem permitido o uso do microscópio para medição de ovócitos.

A todos os amigos, professores e funcionários do Museu Nacional, que tornaram a convivência agradável e possível. Netinha e Tadeu pelo esforço e toda a ajuda necessária!

A Fábio Pitombo e Gisela Caetano que emprestaram suas câmeras digitais para realização das inúmeras fotografias.

A amiga Ivana por ter dividido comigo todos os momentos nesses dois anos de luta: alegrias, ansiedades, decepções, oportunidades... Valeu amiga!!

A minha grande e querida família por estar comigo em todos os momentos de minha vida! Tio Zé Oswaldo e tia Helinha pelo apoio, confiança e momentos compartilhados; Tia Ção e Gigi, por terem nos recebido de braços abertos num momento tão difícil, e pela atenção e carinho constantes!

Aos meus amados pais que continuam tornando tudo em minha vida sempre tão possível!

RESUMO

COMPARAÇÃO INTERPOPULACIONAL DE CARACTERES MORFOLÓGICOS E
REPRODUTIVOS DO OURIÇO-DO-MAR *ARBACIA LIXULA* (LINNAEUS, 1758)
(ECHINODERMATA: ECHINOIDEA) EM DUAS LOCALIDADES DO LITORAL DO
ESTADO DO RIO DE JANEIRO.

Paula Caetano Zama

Orientador: Dr. Carlos Renato Rezende Ventura

Resumo da Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Biológicas (Zoologia) do Museu Nacional, Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ciências Biológicas (Zoologia).

Arbacia lixula (Linnaeus, 1758) é um equinóide comum no litoral brasileiro e, apesar disso, é pouco estudado no Atlântico Sul. Os objetivos deste trabalho foram comparar as variações morfológicas e reprodutivas dentro e entre duas populações e analisar o ciclo reprodutivo de *Arbacia lixula* através do índice gonadal, do índice de maturidade e da análise histológica das gônadas. Mensalmente, 15 a 20 indivíduos foram coletados por mergulho em apnéia na Prainha, Arraial do Cabo e na Ponta de Itaipu, Niterói. Os indivíduos coletados foram pesados e medidos antes da dissecação. O índice dos órgãos foi calculado. Uma gônada de cada indivíduo foi analisada histologicamente para determinação dos estágios gametogênicos. O ciclo reprodutivo foi rápido e contínuo, com produção e liberação de gametas durante todos os meses do estudo. Diferenças morfológicas interpopulacionais foram encontradas entre o diâmetro, a altura, e o peso da carapaça e o comprimento da demi-pirâmide. Os resultados deste estudo sugerem a ocorrência de plasticidade fenotípica e fluxo gênico entre as duas populações de *Arbacia lixula*. Estudos de manipulação e genética de populações devem anteceder qualquer atividade de manejo e exploração dessa espécie.

Palavras chave: *Arbacia lixula*, Echinoidea, ciclo reprodutivo, morfologia, plasticidade fenotípica.

Rio de Janeiro

Julho 2005

ABSTRACT

INTERPOPULATION COMPARISON OF MORPHOLOGICAL AND REPRODUCTIVE
TRAITS OF THE SEA URCHIN *ARBACIA LIXULA* (LINNAEUS, 1758)
(ECHINODERMATA: ECHINOIDEA) IN TWO LOCALITES IN RIO DE JANEIRO
COAST, BRAZIL.

Paula Caetano Zama

Orientador: Dr. Carlos Renato Rezende Ventura

Abstract da Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Biológicas (Zoologia) do Museu Nacional, Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ciências Biológicas (Zoologia).

Arbacia lixula (Linnaeus, 1758) is a common echinoid on the Brazilian coast, although there are few studies about this species in the South Atlantic Ocean. This work aims to compare morphological and reproductive traits in two sea urchin populations and verify the reproductive cycle of *Arbacia lixula* using gonadal index, maturity index and histological analysis of the gonads. Monthly 15 to 20 specimens were collected by free diving in Prainha, Arraial do Cabo and in Ponta de Itaipu, Niterói. The specimens captured were weighed and had the test diameter and height measured before dissection. The body components indexes were calculated. Each specimen had one gonad analyzed histologically to verify gametogenic stages. The reproductive cycle was fast and continuous showing production and spawning of gametes all the period. Morphological differences were found among diameter, height, and weight of the tests and length of Aristotle's lantern. The results of this study suggest that phenotypic plasticity and gene flow between these two populations of *Arbacia lixula* should be occurring. Studies on population genetics and ecology should be done before any commercial exploitation of this species.

Key Words: *Arbacia lixula*, Echinoidea, reproductive cycle, morphology, phenotypic plasticity.

Rio de Janeiro

Julho 2005

ÍNDICE

Índice de Figuras.....	xii
Índice de Tabelas.....	xv
1 – Introdução.....	1
2 – Relevância.....	4
3 – Área de Estudo	
3.1 – Caracterização das áreas de coleta.....	5
3.2 – Fenômeno da Ressurgência.....	6
4 – Material e Métodos	
4.1 – Metodologia no campo.....	8
4.2 – Metodologia no laboratório.....	9
4.3 – Processos histológicos.....	11
4.4 - Análise dos dados	
4.4.1 – Índices corporais.....	13
4.4.2 – Análise das lâminas.....	14
4.4.3 – Análise estatística.....	15
5 – Resultados	
5.1 – Parâmetros morfológicos	
5.1.1 – Classes de tamanho.....	17
5.1.2 – Variação temporal do índice da carapaça.....	18
5.1.3 – Relação entre o peso seco e o diâmetro da carapaça.....	19
5.1.4 – Relação entre o peso seco e a altura da carapaça.....	20
5.1.5 – Relação entre a altura e o diâmetro da carapaça.....	21
5.1.6 – Variação temporal do índice da lanterna de Aristóteles.....	22
5.1.7 – Relação entre o peso da lanterna de Aristóteles e o diâmetro da carapaça.....	24

5.1.8 – Relação entre a altura da demi-pirâmide e o diâmetro da carapaça.....	25
5.1.9 – Epibiose.....	26
5.2 – Parâmetros fisiológicos	
5.2.1 – Variação do índice gonadal (IG).....	27
5.2.2 – Proporção sexual.....	31
5.2.3 – Descrição dos estágios gametogênicos	
5.2.3.1 – Espermatogênese.....	33
5.2.3.2 – Ovogênese.....	35
5.2.4 – Ciclo gametogênico.....	37
5.2.5 - Índice de maturidade.....	43
5.2.6 – Relação entre os estágios gametogênicos e índice gonadal.....	46
5.2.7 –Distribuição dos diâmetros dos ovócitos.....	49
5.2.8 – Variação do índice intestinal.....	52
6 – Discussão.....	54
7 – Conclusão.....	63
8 – Referências bibliográficas.....	64

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Localização das áreas de coleta: Ponta de Itaipu (Niterói) e Prainha (Arraial do Cabo) e a distância aproximada entre elas.....	7
Figura 2 – <i>Arbacia lixula</i> . Mensuração da altura da demi-pirâmide.....	10
Figura 3 – <i>Arbacia lixula</i> . Epibiontes incrustados em exemplares coletados. (A) <i>Balanus trigonus</i> (craca) e ascídias; (B) <i>Balanus trigonus</i> (craca) e algas; (C) <i>Balanus trigonus</i> (craca) e outras cracas.....	10
Figura 4 - Diagrama da metodologia utilizada na preparação histológica das gônadas.....	12
Figura 5 - <i>Arbacia lixula</i> . Classes de tamanho (diâmetro da carapaça) dos indivíduos amostrados da Prainha (Arraial do Cabo) e da Ponta de Itaipu (Niterói) e Niterói.....	17
Figura 6 – <i>Arbacia lixula</i> . Variação temporal do índice da carapaça nas populações da Prainha (Arraial do Cabo) e da Ponta de Itaipu (Niterói).....	18
Figura 7 - <i>Arbacia lixula</i> . Relação entre o peso seco e o diâmetro da carapaça nas populações da Prainha (Arraial do Cabo) e da Ponta de Itaipu (Niterói).....	19
Figura 8 – <i>Arbacia lixula</i> . Relação entre o peso seco e a altura da carapaça nas populações da Prainha (Arraial do Cabo) e da Ponta de Itaipu (Niterói).....	20
Figura 9 – <i>Arbacia lixula</i> . Relação entre a altura e o diâmetro da carapaça nas populações da Prainha (Arraial do Cabo) e da Ponta de Itaipu (Niterói).....	21
Figura 10 – <i>Arbacia lixula</i> . Variação temporal do índice da lanterna peso úmido (A) e peso seco (B) nas populações da Prainha (Arraial do Cabo) e da Ponta de Itaipu (Niterói).....	23
Figura 11 - <i>Arbacia lixula</i> . Relação entre o peso da lanterna de Aristóteles e o diâmetro da carapaça nas populações da Prainha (Arraial do Cabo) e da Ponta de Itaipu (Niterói).....	24
Figura 12 - <i>Arbacia lixula</i> . Relação entre a altura da demi-pirâmide e o diâmetro da carapaça nas populações da Prainha (Arraial do Cabo) e da Ponta de Itaipu (Niterói).....	25

Figura 13 - <i>Arbacia lixula</i> . Variação temporal do índice gonadal nas populações da Prainha (Arraial do Cabo) e da Ponta de Itaipu (Niterói).....	28
Figura 14 - <i>Arbacia lixula</i> . Exemplares coletados liberando gametas: (A) machos; (B) fêmeas.....	31
Figura 15 - <i>Arbacia lixula</i> . Espermatogênese: (A - B) Estágio I - Recuperação; (C) Estágio II - Crescimento; (D - E) Estágio III - Maduro; (F - G) Estágio IV - Liberação; e (H) Estágio V - Vazio.....	34
Figura 16 - <i>Arbacia lixula</i> . Ovogênese: (A) Estágio I - Recuperação; (B) Estágio I e II - Recuperação e Crescimento, (C) Estágio II - Crescimento; (D - E) Estágio III - Maduro; (F - G) Estágio IV - Liberação; (H) Estágio IV e II - Liberação e Crescimento; e (I) Estágio V - Vazio.....	36
Figura 17 - <i>Arbacia lixula</i> . Variação do índice gonadal e dos estágios gametogênicos de machos e fêmeas (combinados) nas populações da Prainha (Arraial do Cabo) (A) e da Ponta de Itaipu (Niterói) (B).....	40
Figura 18 - <i>Arbacia lixula</i> . Variação do índice gonadal e dos estágios gametogênicos de machos (A) e fêmeas (B) na população da Prainha (Arraial do Cabo).....	41
Figura 19 - <i>Arbacia lixula</i> . Variação do índice gonadal e dos estágios gametogênicos de machos (A) e fêmeas (B) na população da Ponta de Itaipu (Niterói).....	42
Figura 20 - <i>Arbacia lixula</i> . Índice de maturidade de fêmeas (A) e machos (B) na população da Prainha (Arraial do Cabo).....	44
Figura 21 - <i>Arbacia lixula</i> . Índice de maturidade de fêmeas (A) e machos (B) na população da Ponta de Itaipu (Niterói).....	45
Figura 22 - <i>Arbacia lixula</i> . Relação entre os estágios gametogênicos e o índice gonadal de fêmeas (A) e machos (B) da população da Prainha (Arraial do Cabo).....	47

Figura 23 – <i>Arbacia lixula</i> . Relação entre os estágios gametogênicos e o índice gonadal de fêmeas (A) e machos (B) da população da Ponta de Itaipu (Niterói).....	48
Figura 24 - <i>Arbacia lixula</i> . Distribuição da frequência do diâmetro dos ovócitos na população da Prainha (Arraial do Cabo).....	51
Figura 25 - <i>Arbacia lixula</i> . Distribuição da frequência do diâmetro dos ovócitos na população da Ponta de Itaipu (Niterói).....	51
Figura 26 - <i>Arbacia lixula</i> . Variação temporal do índice intestinal na população da Prainha (Arraial do Cabo) e da Ponta de Itaipu (Niterói).....	52

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 – <i>Arbacia lixula</i> . Ocorrência de epibiontes em indivíduos coletados nas populações da Prainha (Arraial do Cabo) e da Ponta de Itaipu (Niterói).....	26
Tabela 2 – <i>Arbacia lixula</i> . Teste de Tukey indicando as diferenças entre os valores do índice gonadal entre os meses de coleta na população da Prainha (Arraial do Cabo).....	29
Tabela 3 - <i>Arbacia lixula</i> . Teste de Tukey indicando as diferenças entre os valores do índice gonadal entre os meses de coleta na população da Ponta de Itaipu (Niterói).....	30
Tabela 4 - <i>Arbacia lixula</i> . Número e proporção sexual de machos e fêmeas na população da Prainha (Arraial do Cabo).....	32
Tabela 5 – <i>Arbacia lixula</i> . Número e proporção sexual de machos e fêmeas na população da Ponta de Itaipu (Niterói).....	32
Tabela 6 – <i>Arbacia lixula</i> . Distribuição dos estágios gametogênicos nos indivíduos amostrados na Prainha (Arraial do Cabo).....	39
Tabela 7 – <i>Arbacia lixula</i> . Distribuição dos estágios gametogênicos nos indivíduos amostrados na Ponta de Itaipu (Niterói).....	39
Tabela 8 – <i>Arbacia lixula</i> . Média mensal dos diâmetros dos ovócitos mensurados nas populações das Prainha (Arraial do Cabo) e da Ponta de Itaipu (Niterói).....	50
Tabela 9 – <i>Arbacia lixula</i> . Teste de Tukey indicando as diferenças entre os valores do índice intestinal entre os meses de coleta na população da Prainha (Arraial do Cabo).....	53
Tabela 10 – <i>Arbacia lixula</i> . Teste de Tukey indicando as diferenças entre os valores do índice intestinal entre os meses de coleta na população da Ponta de Itaipu (Niterói).....	53

1 – Introdução

Os ouriços-do-mar (Echinodermata: Echinoidea) são conhecidos pela comunidade científica desde os tempos de Aristóteles. Até cinquenta anos atrás, predominavam os estudos anatômicos, embrionários, evolutivos e paleontológicos sobre os equinóides. Atualmente, um grande interesse pela biologia e ecologia desses animais confirma o reconhecimento de sua importância ecológica e comercial (LAWRENCE, 2001).

A espécie de ouriço-do-mar *Arbacia lixula* (Linnaeus, 1758) ocorre ao longo da costa atlântica da América do Sul (da Venezuela até a foz do Rio Prata, Argentina), no Mediterrâneo, na costa africana, nas Ilhas Canárias, Madeira e Açores. É uma espécie exclusivamente litorânea, encontrada principalmente em substrato rochoso no infralitoral raso até cerca de 50m de profundidade (TOMMASI, 1966).

Como a maioria das espécies de equinodermos, *A. lixula* possui uma fase larval planctônica no seu ciclo de vida. Esse tipo de desenvolvimento larval permite uma grande dispersão geográfica da espécie. Os limites para a dispersão estão associados à ação de correntes marinhas e/ou gradientes de temperatura da água do mar. Esses fatores afetam tanto o transporte das larvas como a capacidade de recrutamento destas no ambiente. Desta forma, é possível encontrar variações morfológicas e fisiológicas entre populações que refletem a interrupção ou o decréscimo do fluxo gênico entre elas (WARES *et al.* 2001).

Caracteres fisiológicos, morfológicos e comportamentais podem diferir em espécies que possuem ampla distribuição geográfica. Assim, variações fenotípicas podem estar relacionadas tanto a diferenças genéticas básicas quanto a modificações induzidas pelo meio ambiente (MARCUS, 1980). A plasticidade fenotípica é conhecida como a capacidade de um genótipo produzir fenótipos diferentes em resposta a

condições ambientais distintas (PIGLIUCCI, 2001). Esta se torna um fator importante quando tem um significado adaptativo (micro-evolutivo), ou seja, quando afeta a sobrevivência e/ou fecundidade dos indivíduos (EBERT, 1996).

Em equinóides, a plasticidade fenotípica pode ser descrita como uma reação fisiológica ou morfológica a mudanças gradativas do ambiente. Como são animais de movimentos lentos, tornam-se susceptíveis às variações ambientais e, portanto a plasticidade fenotípica pode ser esperada (EBERT, 1996). Variações no tamanho das gônadas, do intestino e da lanterna de Aristóteles podem ser resultantes das exigências ambientais de cada localidade. O tamanho do intestino e das gônadas pode ser usado para indicar a condição nutricional e a qualidade do habitat. Além disso, a relação entre o tamanho da lanterna de Aristóteles e o tamanho da carapaça altera-se em função da disponibilidade de alimento (EBERT, 1996; HILL & LAWRENCE, 2003; VENTURA & BARCELLOS, 2004).

As diferenças morfológicas e fisiológicas entre populações são importantes para identificar barreiras biogeográficas (efetivas ou parciais) que podem causar isolamento reprodutivo entre as subpopulações (LESSIOS *et al.* 1999; VENTURA *et al.* 2001; WARES *et al.* 2001). No caso específico de *A. lixula*, o fenômeno de ressurgência de Cabo Frio pode ser um fator limitante para dispersão de suas larvas na região costeira.

A maioria dos equinodermos apresenta apenas reprodução sexual e são gonocóricas, ou seja, os sexos ocorrem separadamente em cada indivíduo (machos e fêmeas). Espécies hermafroditas raramente são encontradas (LAWRENCE, 1987; BRUSCA & BRUSCA, 1990). O sistema reprodutivo de um equinóide é composto por cinco gônadas, uma em cada região interambulacral, conectadas pelo celoma genital e seio hemal. De cada gônada sai um túbulo principal, chamado gonoduto, que se abre em placas genitais que circundam o periprocto (BRUSCA & BRUSCA, 1990; WALKER *et*

al. 2001). As gônadas são formadas por dois tipos de células: as células germinativas que produzem os gametas, e as células somáticas, chamadas de fagócitos nutritivos, que fornecem nutriente e energia (WALKER *et al.* 2001).

O processo metabólico dos seres vivos consome grande quantidade de energia celular. A distribuição dessa energia é muito importante para a compreensão do crescimento e desenvolvimento dos organismos, além de fornecer informações sobre suas estratégias de vida (HILL & LAWRENCE, 1999; MARSH & WATTS, 2001). A alocação de energia varia muito entre as espécies de equinóides, pois umas investem mais no crescimento somático e outras na reprodução (LOZANO *et al.* 1995; HILL & LAWRENCE, 1999). Por outro lado, o crescimento do corpo e a reprodução podem ocorrer simultaneamente caso o alimento seja abundante (LAWRENCE, 1987). Fatores ambientais, entre eles a disponibilidade alimentar e o hidrodinamismo, podem afetar a alocação de energia (LOZANO *et al.* 1995).

O interesse comercial pelos equinodermos vem se intensificando ao longo dos anos. Além do alto valor no mercado como recurso pesqueiro, os animais são capturados para fins artesanais. O esqueleto de ouriços e estrelas-do-mar pode ser facilmente encontrado em regiões comerciais de cidades litorâneas brasileiras.

Há muito tempo, as gônadas de ouriço-do-mar são consumidas pelo homem. Este hábito iniciou-se na Ásia, nos países do Mediterrâneo e no Chile. Nos últimos anos, o comércio mundial desses equinodermos se expandiu tanto que a pesca entrou em declínio. Em países como o Japão, França, Irlanda, Chile, Estados Unidos e Canadá a demanda do mercado é tão grande que ampliou o interesse pela aquacultura. O sucesso da aquacultura se deve principalmente ao crescimento do equinóide até o tamanho comercialmente exigido e a otimização na produção das gônadas, que são avaliadas pela sua cor, textura e sabor (SPIRLET *et al.* 1998; LAWRENCE *et al.* 2001; OTERO &

KELLY, 2002). Mesmo com a utilização da aquacultura, a demanda do mercado ainda é maior que o suprimento mundial. Isso leva a indústria a procurar por novas espécies para o cultivo (OTERO & KELLY, 2002). Por esse motivo, essa técnica exige um conhecimento sobre o ciclo de vida desses invertebrados, além de particularidades no desenvolvimento de cada espécie.

Apesar de ser um ouriço-do-mar freqüente no litoral brasileiro, a espécie *Arbacia lixula* é muito pouco estudada no Atlântico Sul. O ciclo reprodutivo com base nas variações bioquímicas das gônadas foi descrito para a espécie no Paraná (TAVARES *et al.* 2004). Além disso, poucas informações sobre a biologia deste animal são encontradas na literatura (ROCCHERI *et al.* 1986; GEORGE *et al.* 1990; LAWRENCE & BAZHIN, 1998; BULLERI *et al.* 1999). A falta de conhecimento sobre a espécie é um empecilho para atividades de manejo e uma possível exploração comercial.

O presente trabalho teve como principais objetivos comparar os aspectos morfológicos e reprodutivos dos exemplares coletados em duas populações e analisar o ciclo reprodutivo de *Arbacia lixula*, classificando e comparando os estágios de maturação de suas gônadas dentro e entre populações ao longo do tempo.

2 – Relevância do Projeto

A comparação de caracteres morfológicos e reprodutivos é importante para identificar fenômenos de escala micro-evolutiva (como isolamento reprodutivo), assim como barreiras biogeográficas potenciais.

Informações sobre a biologia reprodutiva de *Arbacia lixula* em diferentes localidades ao longo de sua distribuição geográfica devem anteceder qualquer atividade de manejo e exploração comercial desta espécie.

3 - Áreas de Estudo

3.1 – Caracterização das áreas de estudo

Os indivíduos do ouriço-do-mar *Arbacia lixula* foram coletados em duas localidades no litoral do Estado do Rio de Janeiro: Prainha (Arraial do Cabo) e Ponta de Itaipu (Niterói) (Figura 1).

A cidade de Arraial do Cabo está localizada na Região dos Lagos, a aproximadamente 160 Km da capital do Estado. Esta região é caracterizada pela ocorrência do fenômeno de ressurgência, que é o afloramento de águas frias e ricas em nutrientes de grandes profundidades. A Prainha (22° 58'S e 43° 01'W) é uma praia arenosa com cerca de 1 km de extensão, caracterizada por águas transparentes e quase sempre calmas. As coletas foram realizadas no costão leste da praia, caracterizado por um fundo arenoso com muitos fragmentos rochosos onde os equinóides foram capturados em profundidades de até 3m.

A Praia de Itaipu (22° 53'S e 43° 06'W) é uma das praias oceânicas de Niterói. Localizada a cerca de 40 km da cidade do Rio de Janeiro, Itaipu é uma praia com águas turvas e de batimento moderado a calmo durante a maior parte do ano. Porém é uma praia poluída, pois além de ser muito próxima à Baía de Guanabara, recebe grande quantidade de dejetos de lixo e sofre ação direta da comunidade pesqueira local. As coletas nessa praia aconteceram no costão leste (conhecida como Ponta de Itaipu), onde os indivíduos foram retirados de afloramentos rochosos em profundidades de até 2m.

As áreas de estudo foram definidas a partir da hipótese de que o fenômeno de ressurgência, que ocorre na região de Arraial do Cabo, atue como uma barreira biogeográfica, influenciando o fluxo gênico entre populações.

3.2 – Fenômeno de Ressurgência

A ressurgência costeira é uma característica comum ao longo dos limites orientais dos oceanos. Porém, ocorre como exceção na costa oeste do oceano Atlântico, na região de Cabo Frio, Rio de Janeiro, Brasil (CARBONEL, 2003). Essa ocorrência se deve a topografia e ao regime de ventos da região costeira local e tem origem nas Águas Centrais do Atlântico Sul. Comparado ao que ocorre em outras regiões do mundo, é considerado um fenômeno local, de pequena escala e que ocorre em eventos rápidos. Foi descrito pela primeira vez por Allard em 1955, que reportou a direção dos ventos e as variações de temperatura da água do mar. O fenômeno de ressurgência em Cabo Frio pode ser responsável pelo aumento da produtividade primária do local, tendo assim como consequência um aumento da biodiversidade da região (GUIMARAENS & COUTINHO, 2000).

O fenômeno de ressurgência na Região de Cabo Frio ocorre geralmente nos meses de primavera e verão e é caracterizado por baixas temperaturas da água (entre 12° e 18°C) e altas concentrações de nitrato. Isso se deve à suspensão até a superfície de massas d'água profundas do oceano que são águas frias e ricas em nutrientes (CARBONEL & VALENTIN, 1999; GUIMARAENS & COUTINHO, 2000).

Estudos na região de Cabo Frio mostram como o fenômeno de ressurgência pode estar relacionado com a variação da cobertura de algas, como por exemplo,

Ulva spp, relatado por GUIMARAENS & COUTINHO (1996 e 2000). Esse fenômeno pode ainda funcionar como barreira biogeográfica, diminuindo o fluxo gênico entre as populações de mexilhão *Perna perna* (Linnaeus, 1758), como citou SILVA (2002).

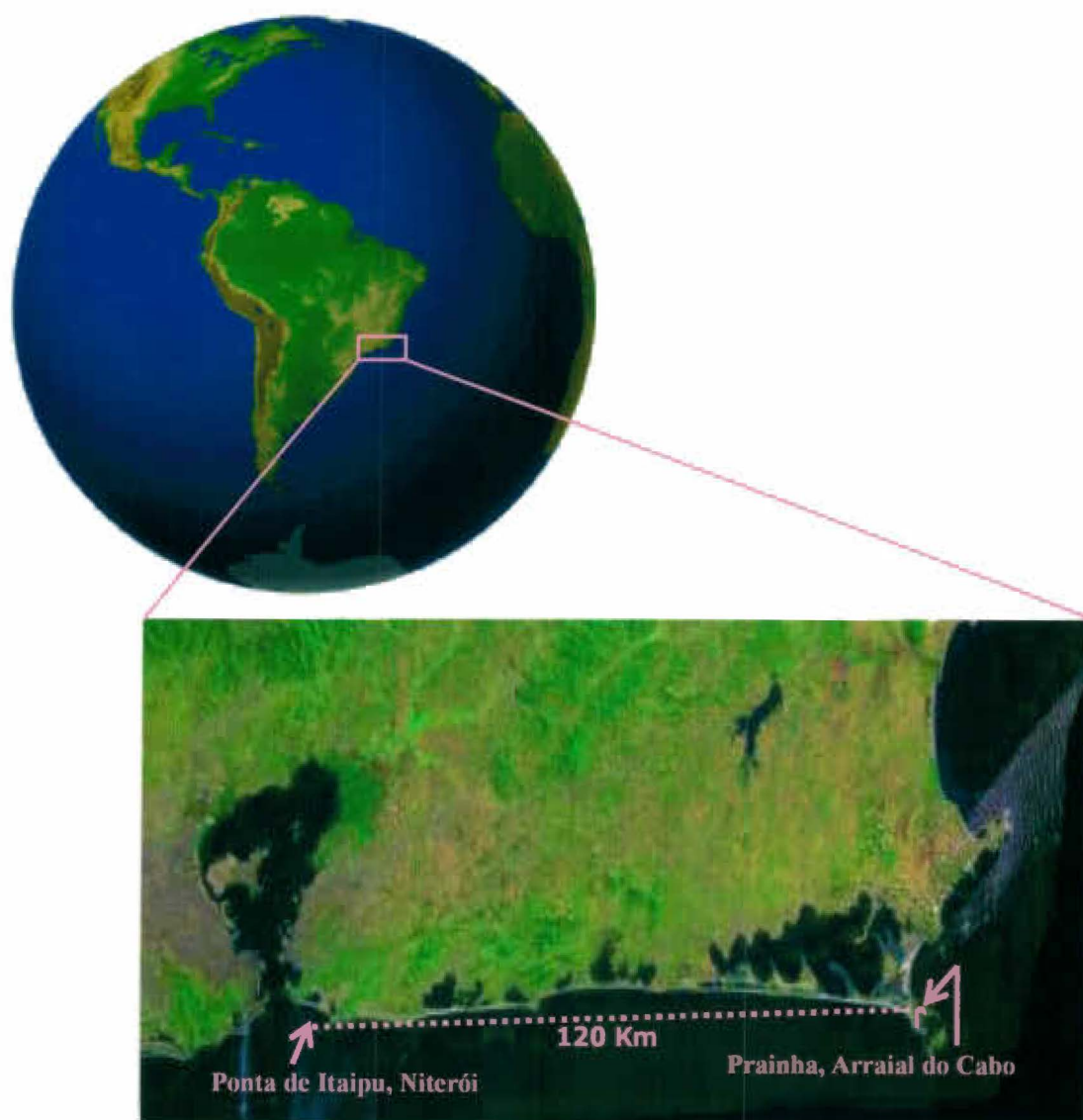


Figura 1 - Localização das áreas de coleta: Ponta de Itaipu (Niterói) e Prainha (Arraial do Cabo) e a distância aproximada entre elas.

4 - Material e Métodos

4.1 - Metodologia no campo

Mensalmente, foram realizados mergulhos em apnéia para coleta de 15 a 20 indivíduos do ouriço-do-mar *Arbacia lixula* na Prainha em Arraial do Cabo (RJ) e na Ponta de Itaipu em Niterói (RJ). As amostragens foram aleatórias e os indivíduos foram capturados manualmente, com auxílio de facas de mergulho. Os animais coletados foram colocados em baldes plásticos com água do mar, anestesiados com mentol e transportados para o laboratório, onde foram fixados em formalina a 10%. Alguns exemplares foram fotografados em campo com uma câmera Canon EOS 300.

Foram realizadas 16 coletas na Prainha no período de maio de 2003 a setembro de 2004 (com exceção do mês de junho de 2003) e 13 na Ponta de Itaipu, de setembro de 2003 a setembro de 2004. No total, foram coletados 466 indivíduos, sendo 255 em Arraial do Cabo e 211 em Niterói. O esforço de coleta foi diferenciado em Arraial do Cabo, onde os indivíduos foram coletados em até oito minutos, contrastando com Niterói, onde as coletas não foram realizadas em menos de 20 minutos. A média de indivíduos coletados (15) não foi atingida no mês de maio de 2003 e fevereiro de 2004 em Arraial do Cabo, quando foram coletados apenas 11 e 14 indivíduos respectivamente, e nos meses de julho de 2004 (12 indivíduos) e setembro de 2004 (oito indivíduos) em Niterói, devido às péssimas condições do mar.

4.2 – Metodologia no laboratório

Antes da dissecação, os equinóides foram colocados por alguns minutos em papel absorvente para remoção do excesso de água e formalina. Foram medidos os diâmetros (maior e menor) e a altura da carapaça de cada indivíduo com um paquímetro digital com precisão de 0,01mm. Após a obtenção do peso úmido total, os indivíduos foram dissecados e as gônadas, o intestino, a lanterna de Aristóteles e a carapaça (carapaça, espinhos e tecidos associados) foram pesados separadamente em uma balança digital com precisão de 0,01g para cálculo dos índices corporais. As vísceras foram armazenadas em potes plásticos com formalina a 10%. A carapaça e a lanterna foram enroladas em papel alumínio e colocadas em estufa a 60° C por, pelo menos, 24 horas para obtenção de seu peso seco. A altura da demi-pirâmide (incluindo a extremidade distal do dente) de cada lanterna de Aristóteles também foi medida (Figura 2), conforme sugerido por EBERT (1980).

Alguns equinóides possuíam outros invertebrados (como por exemplo, cracas e ascídias) incrustados em sua carapaça (Figura 3). Após a obtenção do peso seco total da carapaça desses indivíduos, os epibiontes foram removidos, pesados e conservados em álcool a 70%.

Para as fotografias realizadas nestas etapas foi utilizada uma câmera digital Nikon Coolpix 4500. As fotografias foram editadas no programa Adobe Photoshop 7.0.



Figura 2 – *Arbacia lixula*. Mensuração da altura da demi-pirâmide.

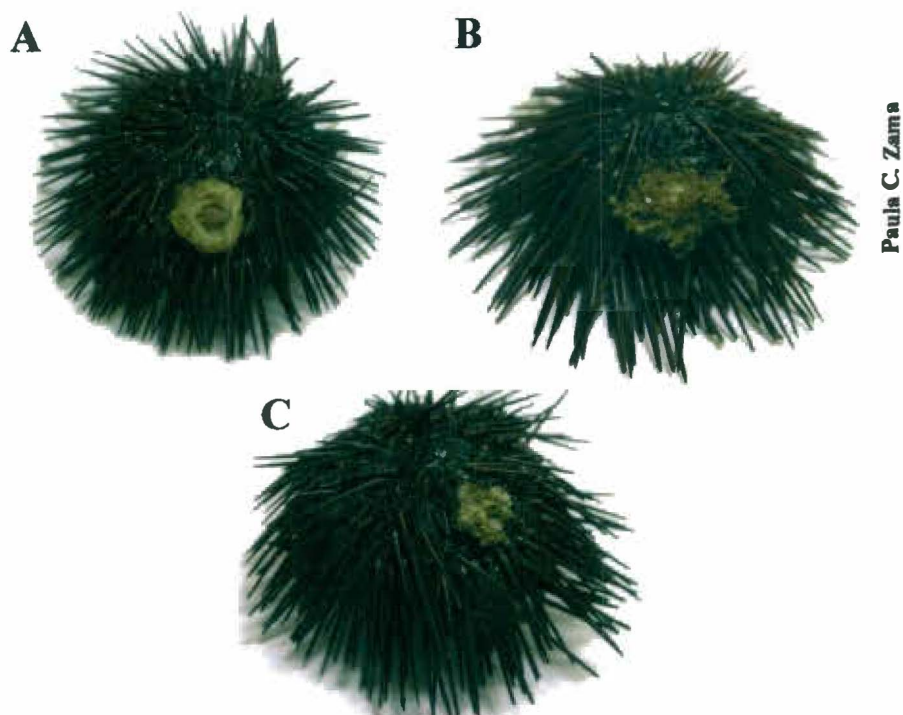


Figura 3 – *Arbacia lixula*. Epibiontes incrustados em exemplares coletados. (A) *Balanus trigonus* (craca) e ascídias; (B) *Balanus trigonus* (craca) e algas; (C) *Balanus trigonus* (craca) e outras cracas.

4.3 – Processos Histológicos

Uma das cinco gônadas de cada indivíduo coletado foi utilizada para as análises histológicas. As gônadas preservadas em formalina a 10% foram colocadas em cassetes plásticos perfurados, onde foram mantidas até o final da terceira etapa da preparação histológica. Primeiramente, as gônadas foram desidratadas em uma série alcoólica de etanol 60% a 100%. Depois, seguiram para potes com xilol dando início à rápida etapa de diafanização. Em seguida, o material passou por três banhos de parafina líquida dentro de uma estufa a 60°C. Após o terceiro banho, as gônadas foram emblocadas e seccionadas a 7µm com auxílio de um micrótomo. Os cortes seqüenciais foram colocados em lâminas de vidro, de 26 x 76mm de comprimento. Os cortes histológicos foram corados com hematoxilina de Delafield e eosina Y. Após a coloração, as lâminas foram cobertas com lamínulas, de 24 x 50mm ou 24 x 60 mm de comprimento, para proteção do material. O diagrama desta metodologia está representado na Figura 4.

Foram feitas duas lâminas com cortes seqüenciais para cada gônada. Os cortes foram examinados em microscópio óptico Olympus CBA e Zeiss Axiolab sob aumentos de 40, 100, 200 e 400 vezes.

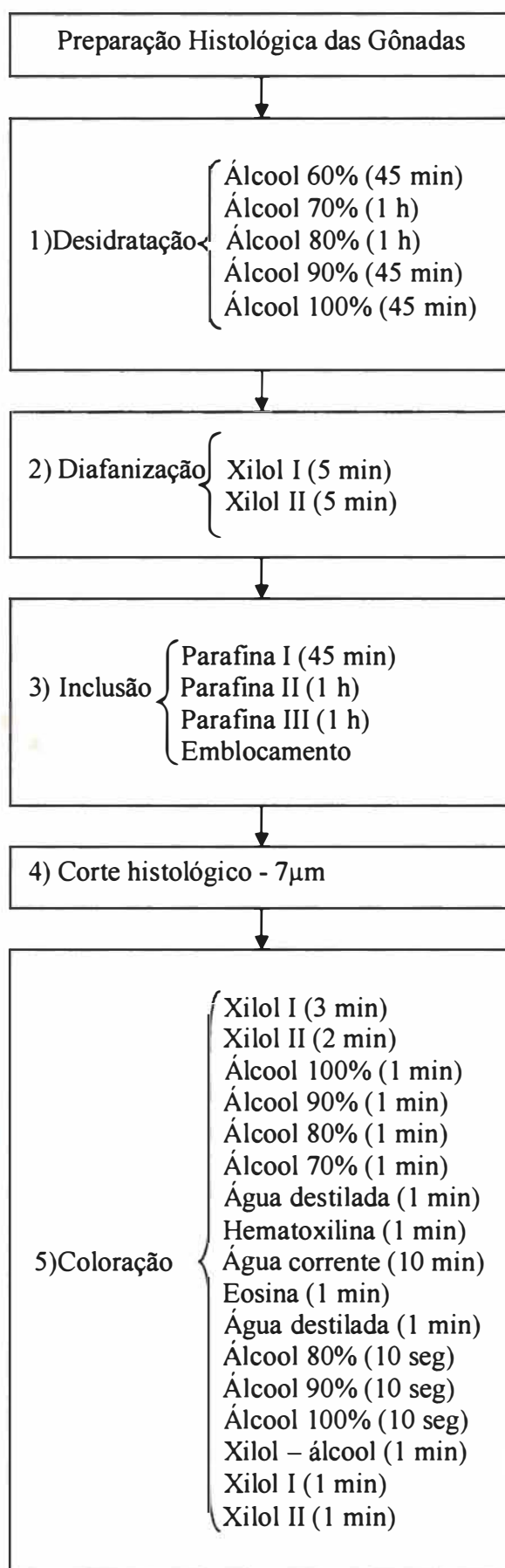


Figura 4 - Diagrama da metodologia utilizada na preparação histológica das gônadas.

4.4 - Análise de Dados

4.4.1 - Índices Corporais

Inicialmente, foram feitos cálculos dos índices dos compartimentos corporais para verificar possíveis mudanças sazonais nos indivíduos das duas localidades. Foram utilizadas as seguintes fórmulas:

$$\text{Índices dos órgãos} = \frac{\text{Peso úmido do órgão}}{(\text{Peso úmido total} - \text{Peso do órgão})} \times 100$$

$$\text{Índices da lanterna} = \frac{\text{Peso da lanterna}}{(\text{Peso da carapaça})} \times 100$$

$$\text{Índices da carapaça} = \frac{\text{Peso úmido da carapaça}}{(\text{Peso úmido total})} \times 100$$

Para o cálculo do índice da lanterna de Aristóteles foram utilizados os respectivos pesos secos e úmidos dos compartimentos corporais. Após o cálculo dos índices de cada indivíduo amostrado, foram calculados as médias mensais e os respectivos erros e desvios padrões. O programa utilizado para realização dessa etapa foi o Microsoft Excel.

4.4.2 – Análise das lâminas

As gônadas foram classificadas quanto ao sexo e quanto aos estágios reprodutivos. Foram considerados cinco estágios gametogênicos: I – recuperação, II – crescimento, III – maduro, IV – liberação e V – vazio; baseando-se em Byrne (1990). Os estágios foram classificados de acordo com a aparência da maioria dos ácidos (pequenas dilatações saculiformes) de cada gônada. Os testículos foram caracterizados basicamente de acordo com a espessura da parede e a quantidade de espermatozoides e tecido nutritivo dos ácidos. A caracterização dos ovários baseou-se na quantidade e aspecto dos ovócitos, presença ou não de fagócitos e tecido nutritivo, além da espessura da parede do ácido.

Para as fotografias dos estágios gametogênicos foram utilizadas câmeras digitais Nikon Coolpix 4500 e 5400, e Sony Cyber-shot P-93. As fotografias foram editadas (colocação de escala, legenda e adequação da cor) no programa Adobe Photoshop 7.0.

O diâmetro de 100 ovócitos de fêmeas coletadas em cada mês foi medido utilizando uma ocular milimetrada em um microscópio óptico Olympus BH-2, nos aumentos de 100 e 200 vezes. A distribuição da frequência do tamanho dos ovócitos foi calculada, utilizando esses dados. Foram medidos apenas ovócitos seccionados através do núcleo ou do nucléolo (maioria). Os dados de 197 fêmeas foram analisados, sendo que o número de ovócitos por lâmina variou de acordo com o número de fêmeas encontradas em cada mês.

4.4.3 - Análise Estatística

Antes das análises estatísticas, a normalidade dos dados foi testada através do Teste Kolmogorov-Smirnov. Quando necessário, os dados foram transformados. Os dados em percentagem foram transformados segundo a fórmula (ZAR, 1984):

$$p' = \arcseno . \sqrt{p}, \text{ onde } \begin{cases} p' = \text{dado transformado} \\ p = \text{porcentagem obtida} \end{cases}$$

Para comparação dos valores dos índices gonadais e índices intestinais, dentro e entre as populações, foi utilizada a ANOVA unidirecional. Quando a análise de variância apontou diferenças, foi utilizado o Teste de Tukey para verificar em que meses elas ocorriam (ZAR, 1984; CALLEGARI-JACQUES, 2004). Para essas análises foi utilizado o programa estatístico InStat 3.0.

Foram feitas regressões lineares entre as variáveis: peso seco e diâmetro da carapaça; peso seco e altura da carapaça; altura e diâmetro da carapaça; peso da lanterna de Aristóteles e diâmetro da carapaça; e altura da demi-pirâmide e diâmetro da carapaça. Os coeficientes angulares dessas regressões foram comparados utilizando o Teste T (ZAR, 1984), como se segue:

$$T = \frac{b_1 - b_2}{S(b_1 - b_2)}, \text{ onde } \begin{cases} b = \text{coeficiente angular da reta} \\ S = \text{erro padrão} \end{cases}$$

As diferenças na razão sexual dentro e entre as populações amostradas foram comparadas utilizando o Teste Qui-quadrado (ZAR, 1984), através da fórmula abaixo:

$$\chi^2 = \frac{(obs - esp)^2}{esp}, \text{ onde } \begin{cases} obs = \text{número de indivíduos observados} \\ esp = \text{número de indivíduos esperados} \end{cases}$$

O índice de maturidade (IM), foi calculado utilizando uma escala circular (ZAR, 1984). A circunferência foi dividida em cinco ângulos iguais (um para cada estágio gametogênico). Para cada um desses estágios calculou-se o seno e o co-seno do ângulo correspondente. O número de indivíduos classificados em cada estágio gametogênico em cada mês foi multiplicado pelo seno e co-seno do ângulo correspondente. Obteve-se assim para cada mês, o seno e o co-seno do ângulo médio mensal. Quanto mais próximo o ponto estiver da origem, menos homogênea é a amostra. Os vetores são utilizados para representar as diferenças interanuais dos estágios de desenvolvimento.

O programa utilizado para realização destas etapas foi o Microsoft Excel para Windows.

A relação entre os estágios gametogênicos e o índice gonadal foram representadas através de gráficos realizados no programa estatístico Statistica 6.0.

Os gráficos utilizados para representar a distribuição da frequência do tamanho dos ovócitos foram realizados com auxílio do programa Fisat II.

5 – Resultados

5.1 - Parâmetros morfológicos

5.1.1 – Classes de tamanho

Os equinóides amostrados nas duas populações possuem o diâmetro da carapaça entre 25 – 50 mm. Na população de Arraial do Cabo, a maioria dos indivíduos se encontra entre 35 – 40 mm de diâmetro e na população de Niterói entre 40 - 45 mm (Figura 5).

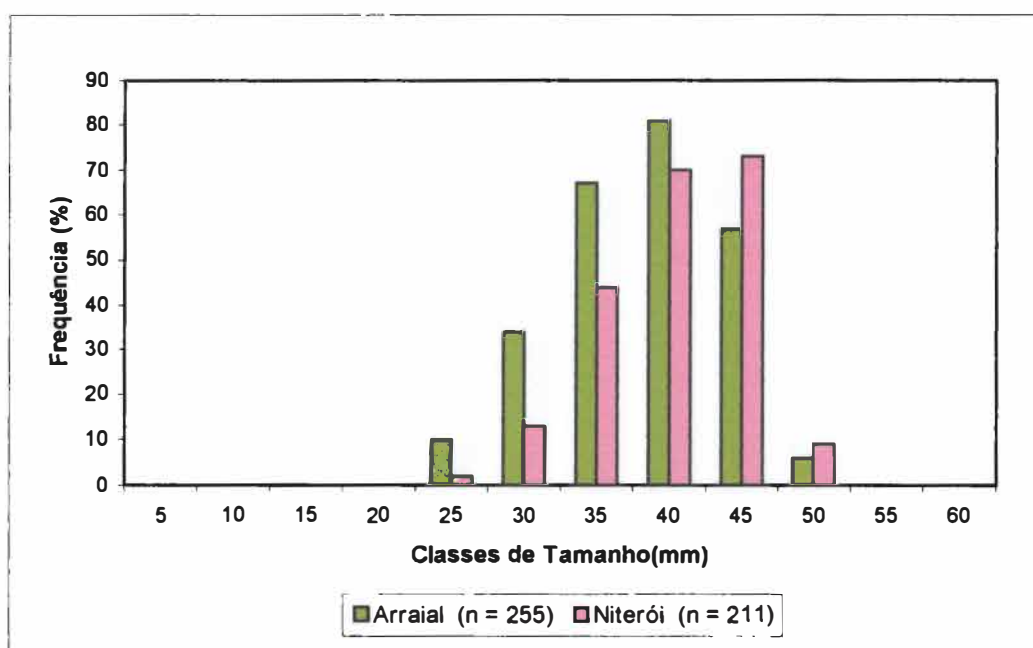


Figura 5 – *Arbacia lixula*. Classes de tamanho (diâmetros da carapaça) dos indivíduos amostrados nas populações da Prainha (Arraial do Cabo) e da Ponta de Itaipu (Niterói).

5.1.2 – Variação temporal do índice da carapaça

As variações mensais do índice da carapaça apresentam a mesma tendência de queda para as populações de Arraial do Cabo e de Niterói. Entretanto, nota-se uma alternância de picos nas duas populações, como ocorre evidentemente nos meses de dezembro de 2003, fevereiro, março, abril e julho de 2004. Os menores valores médios encontrados foram de 56,07% na população de Arraial do Cabo e 53,15% na população de Niterói. Os maiores valores médios foram de 72,38% e 62,44% respectivamente (Figura 6).

A variação temporal desse índice caracteriza as populações, pois evidencia os valores médios extremos (máximos e mínimos) do peso relativo da carapaça, espinhos e tecidos associados.

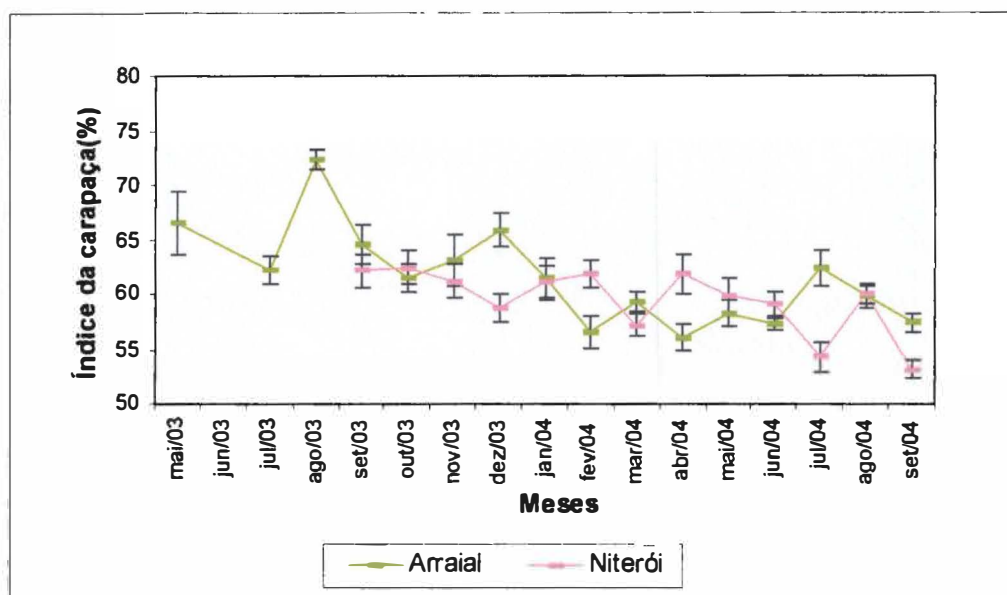


Figura 6 – *Arbacia lixula*. Variação temporal do índice da carapaça nas populações da Prainha (Arraial do Cabo) e da Ponta de Itaipu (Niterói).

5.1.3 – Relação entre o peso seco e o diâmetro da carapaça

A relação entre o peso seco e o diâmetro da carapaça foi significativamente diferente entre as populações de Arraial do Cabo e Niterói ($t = 2,77095$; $P < 0,05$). Em geral, os equinóides menores que 40 mm de diâmetro têm a carapaça mais pesada na população de Niterói do que os do mesmo diâmetro na população de Arraial do Cabo. E a partir de 40 mm de diâmetro, essa relação se inverte, porém é menos expressiva (Figura 7).

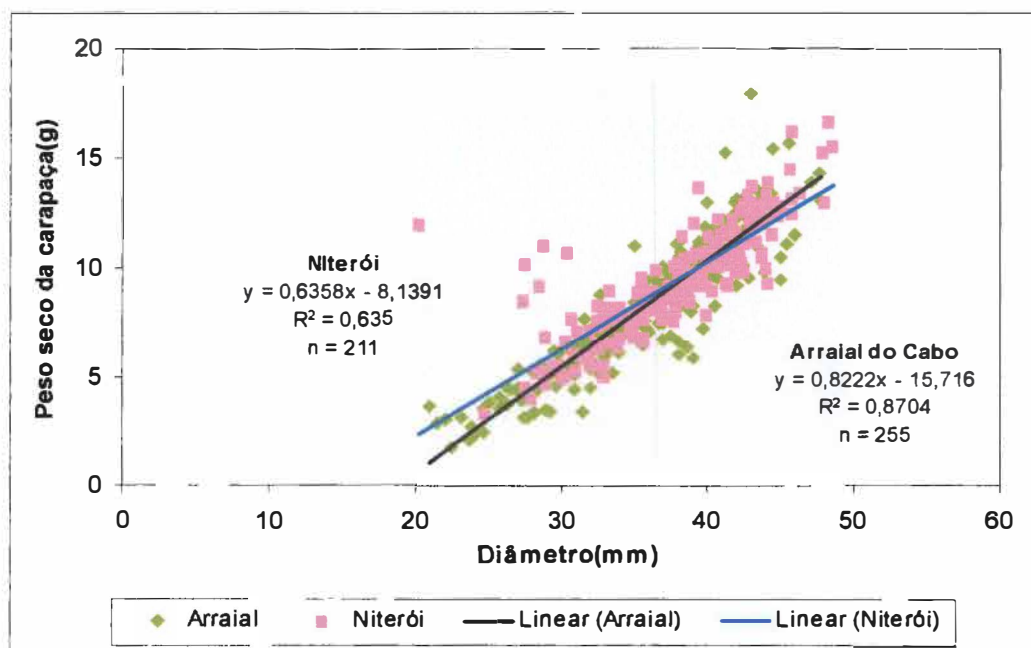


Figura 7 – *Arbacia lixula*. Relação entre o peso seco e o diâmetro da carapaça nas populações da Prainha (Arraial do Cabo) e da Ponta de Itaipu (Niterói).

5.1.4 – Relação entre o peso seco e a altura da carapaça

A relação entre o peso seco da carapaça e sua altura também foi significativamente diferente entre as duas populações ($t = 2,61177$; $P < 0,05$). Sendo assim, pode-se concluir que os equinóides menores que 20mm de altura têm, geralmente, a carapaça mais pesada na população de Niterói do que os da mesma altura na população de Arraial do Cabo. E a partir de 25 mm de altura, essa relação se inverte, ou seja, os indivíduos mais altos em Arraial do Cabo são mais pesados do que os de mesma altura em Niterói. Nota-se também que os equinóides amostrados na população de Niterói tendem a ser um pouco mais altos do que os amostrados na população de Arraial do Cabo (Figura 8).

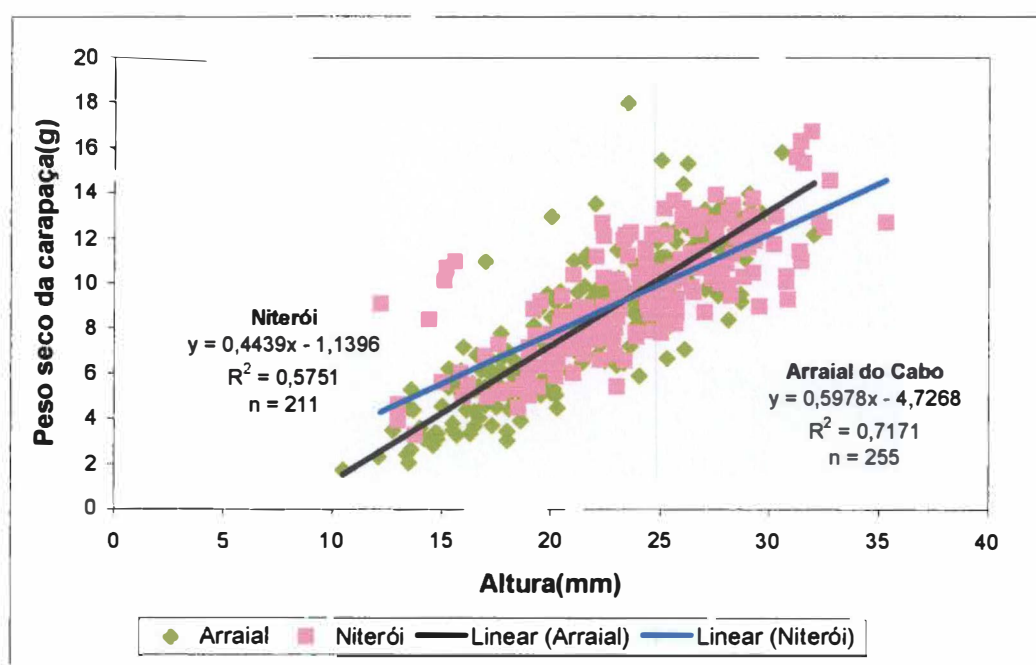


Figura 8 – *Arbacia lixula*. Relação entre o peso seco e a altura da carapaça nas populações da Prainha (Arraial do Cabo) e da Ponta de Itaipu (Niterói).

5.1.5 – Relação entre a altura e o diâmetro da carapaça

As duas populações estudadas também mostraram diferenças significativas quando foi analisada a relação entre a altura e o diâmetro da carapaça ($t = 5,7154$; $P < 0,05$). Essa relação sugere que os indivíduos amostrados na população de Niterói são um pouco mais altos do que os amostrados na população de Arraial do Cabo para todas as classes de tamanho (Figura 9).

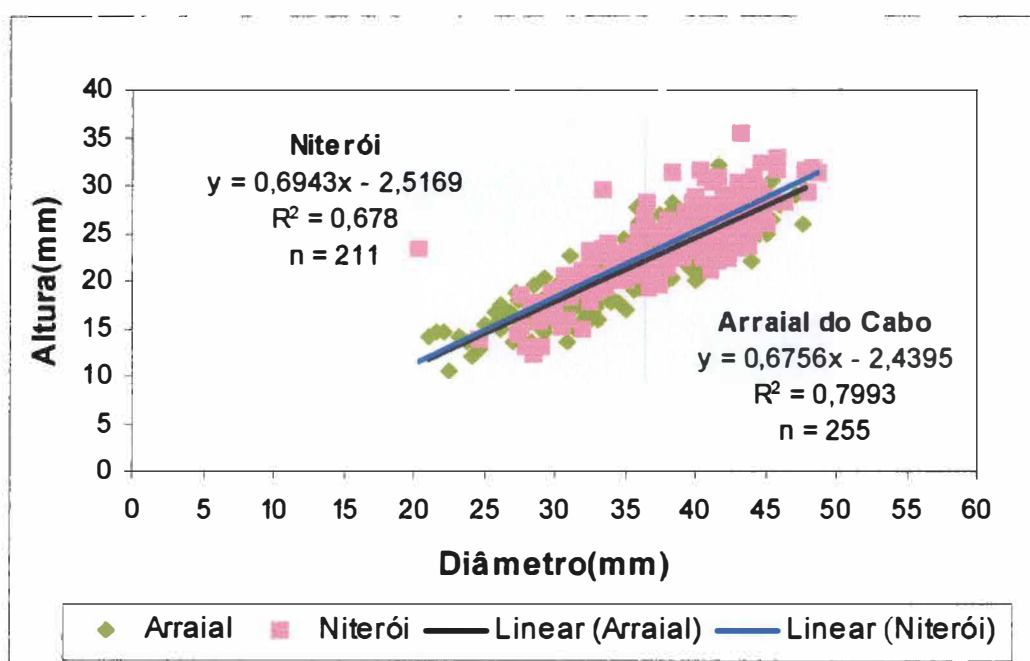


Figura 9 – *Arbacia lixula*. Relação entre a altura e o diâmetro da carapaça nas populações da Prainha (Arraial do Cabo) e da Ponta de Itaipu (Niterói).

5.1.6 – Variação temporal do índice da lanterna de Aristóteles

A variação temporal do índice da lanterna de Aristóteles, utilizando peso úmido e peso seco, apresentou valores médios mais altos na população de Niterói para quase todos os meses amostrados. As exceções ocorreram nos meses de fevereiro, abril e maio de 2004, onde esses valores foram maiores ou iguais aos da população de Arraial do Cabo (Figura 10).

Para o índice da lanterna de Aristóteles seca, os menores valores médios encontrados foram de 7,94% na população de Arraial do Cabo e 10,64% na população de Niterói. Os maiores valores médios encontrados foram de 12,46% e 13,9% respectivamente.

Já para o índice da lanterna de Aristóteles úmida, os menores valores médios encontrados foram de 9,43% na população de Arraial do Cabo e 10,68% na população de Niterói. E os maiores valores médios encontrados foram de 13,21% e 13,66% respectivamente.

A variação temporal desse índice é útil para caracterizar as populações, evidenciando o peso relativo da lanterna de Aristóteles ao longo do tempo.

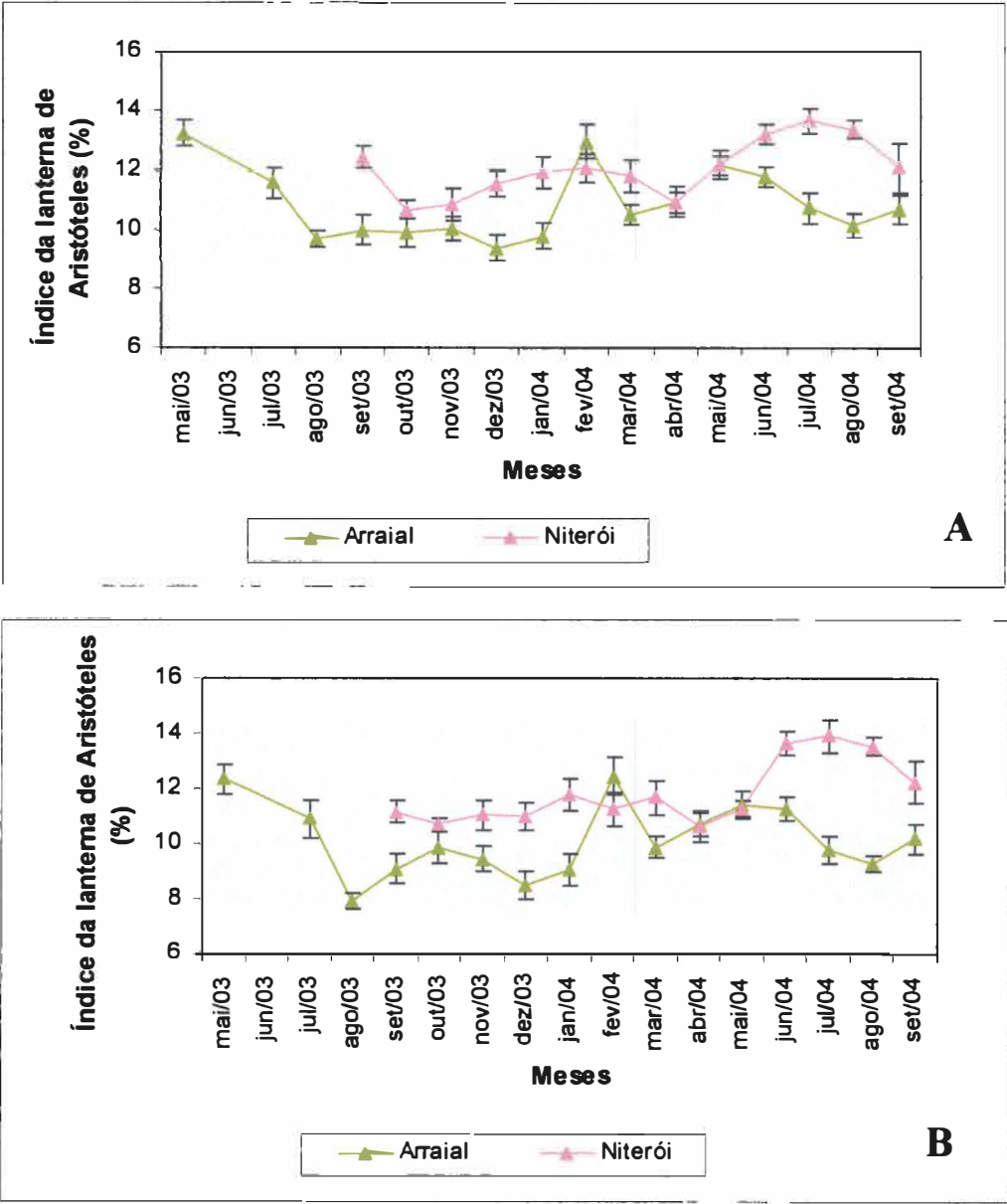


Figura 10 – *Arbacia lixula*. Variação temporal do índice da lanterna peso úmido (A) e peso seco (B) nas populações da Prainha (Arraial do Cabo) e da Ponta de Itaipu (Niterói).

5.1.7 – Relação entre o peso da lanterna de Aristóteles e o diâmetro da carapaça

Já a relação entre o peso da lanterna de Aristóteles e o diâmetro da carapaça não apresentou diferenças significativas entre as duas populações ($t = 1,25917$; $P > 0,05$), embora os equinóides de 20 a 40mm de diâmetro, geralmente, apresentem a lanterna de Aristóteles mais pesada na população de Niterói do que os de mesmo tamanho na população de Arraial do Cabo. Essa relação é contínua, porém menos evidente após os 40 mm de diâmetro (Figura 11).

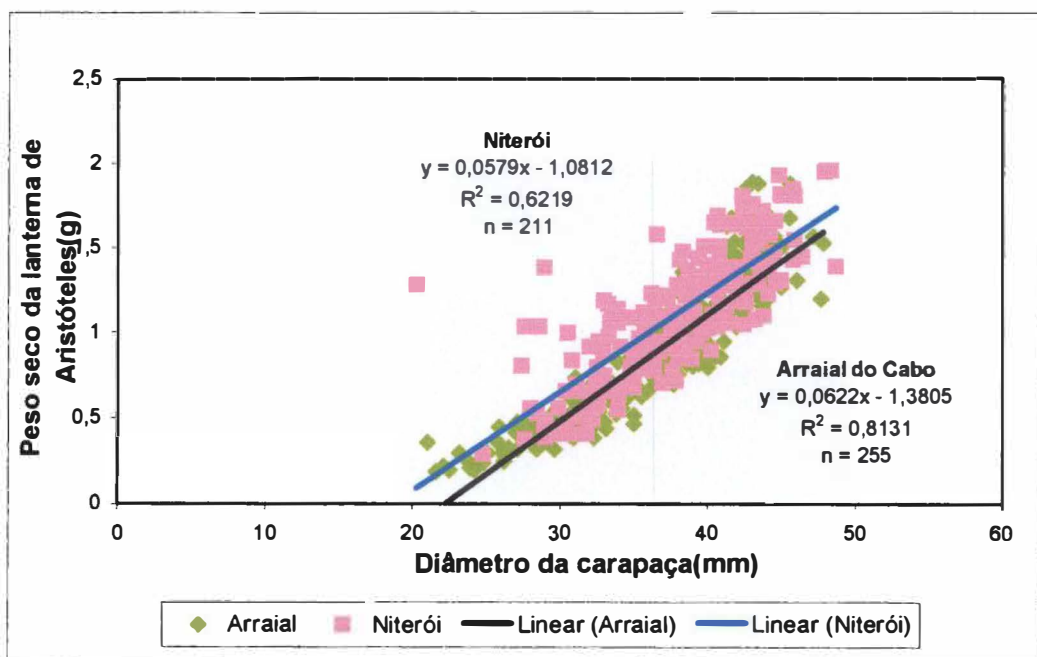


Figura 11 – *Arbacia lixula*. Relação entre o peso da lanterna de Aristóteles e o diâmetro da carapaça nas populações da Prainha (Arraial do Cabo) e da Ponta de Itaipu (Niterói).

5.1.8 – Relação entre a altura da demi - pirâmide e o diâmetro da carapaça.

Por outro lado, a relação entre a altura da demi-pirâmide e o diâmetro da carapaça apresentou diferenças significativas entre as populações estudadas ($t = 7,18999$; $P < 0,05$), mostrando que os equinóides coletados na população de Niterói têm, em geral, a demi-pirâmide mais alta do que aqueles amostrados na população de Arraial do Cabo, em todas as classes de tamanho. Entretanto, essa relação foi mais evidente nos indivíduos com menos de 45 mm de diâmetro (Figura 12).

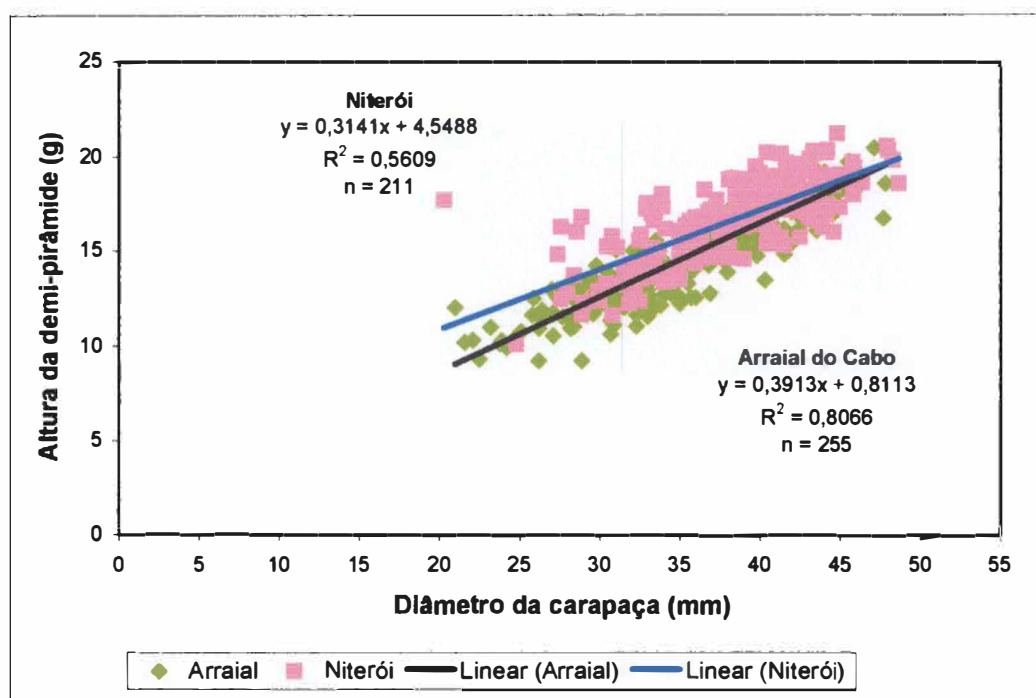


Figura 12 – *Arbacia lixula*. Relação entre a altura da demi-pirâmide e o diâmetro da carapaça nas populações da Prainha (Arraial do Cabo) e da Ponta de Itaipu (Niterói).

5.1.9 – Epibiose

A epibiose é conhecida como uma relação ecológica entre dois organismos, na qual um vive sobre a superfície do outro, podendo ou não parasitá-lo.

Nas populações de *Arbacia lixula* estudadas foram encontrados 40 indivíduos que possuíam outros organismos incrustados em sua carapaça, sendo que dois foram coletados na Prainha (Arraial do Cabo) e 38 na Ponta de Itaipu (Niterói). A maioria dos epibiontes estava incrustado na porção superior da carapaça dos equinóides. A média do diâmetro das carapaças foi de 38,37 mm, sendo que a menor carapaça incrustada tinha 28,9 mm e a maior 48,9mm.

Cinco grupos de organismos foram encontrados incrustados nos ouriços-do-mar coletados: Annelida (poliquetas), Bryozoa, Crustacea (cracas), Mollusca (bivalves) e Tunicata (ascídias). A frequência da ocorrência dos epibiontes está relacionada na Tabela 1. Dos epibiontes encontrados, apenas um crustáceo foi identificado até espécie.

Tabela 1 – *Arbacia lixula*. Ocorrência de epibiontes em indivíduos coletados nas populações da Prainha (Arraial do Cabo) e da Ponta de Itaipu (Niterói).

Epibiontes	Ocorrência (%)
Annelida: poliqueta	10
Bryozoa: colônia de briozoários	15
Crustacea: <i>Balanus trigonus</i>	77,5
outras cracas	45
Molusca: bivalves	7,5
Tunicata: ascídias	2,5

5.2 - Parâmetros fisiológicos

5.2.1 - Variação temporal do índice gonadal

Foi amostrado um total de 255 indivíduos em Arraial do Cabo e 211 em Niterói. Dos equinóides coletados, apenas cinco não apresentaram gônadas em Arraial do Cabo.

A variação temporal do índice gonadal (IG) de *Arbacia lixula* não mostrou diferenças aparentes entre as duas populações estudadas. Os índices gonadais das populações da Prainha e da Ponta de Itaipu atingiram valores máximos no mês de março de 2004, seguido de uma queda brusca nos meses de abril e maio de 2004. O pico alcançou valores médios de 10,93% na população de Niterói e 7,37% na população de Arraial do Cabo, e os valores mínimos correspondentes foram de 4,83% e 1,03% respectivamente (Figura 13).

A média mensal dos valores do índice gonadal foi maior na população de Niterói em quase todos os meses amostrados, com exceção dos meses de agosto e setembro de 2004, onde esse valor foi um pouco superior na população de Arraial do Cabo.

O índice gonadal variou de 1 a 7,37% para os indivíduos coletados em Arraial do Cabo. Em nove dos dezesseis meses amostrados, o índice gonadal não ultrapassou 3%. De fevereiro a março de 2004, o IG aumentou mais de 5% atingindo seu maior valor. Essa elevação foi seguida de uma queda abrupta de mais de 6% nos dois meses seguintes, chegando a segunda menor média mensal amostrada de 1,03% em maio de 2004. No mês de junho de 2004, seguiu-se uma

nova elevação caracterizando o segundo maior pico desse ciclo, com o valor de 5,02%. A variação temporal desse índice mostra dois picos anuais para a população amostrada em Arraial do Cabo (Figura 13).

Na população de Niterói, os valores médios do índice gonadal variaram entre 3,46 a 10,93%. Em apenas três dos treze meses amostrados, o valor do índice gonadal foi inferior a 4% (dezembro 2003, julho e agosto 2004). Além do maior pico atingido em março de 2004, nota-se um outro pico, menos acentuado, em outubro de 2003, com o valor de 6,71%. Dessa forma, a variação temporal do índice gonadal amostrado para a população de Niterói também mostra um ciclo com dois picos anuais, assim como ocorreu para a população de Arraial do Cabo (Figura 13).

O índice gonadal foi significativamente diferente dentro das populações de Arraial do Cabo (Tabela 2) e Niterói (Tabela 3). Já os valores do índice gonadal entre as duas populações não diferiram significativamente ($F = 1,042$; $P = 0,3755$).

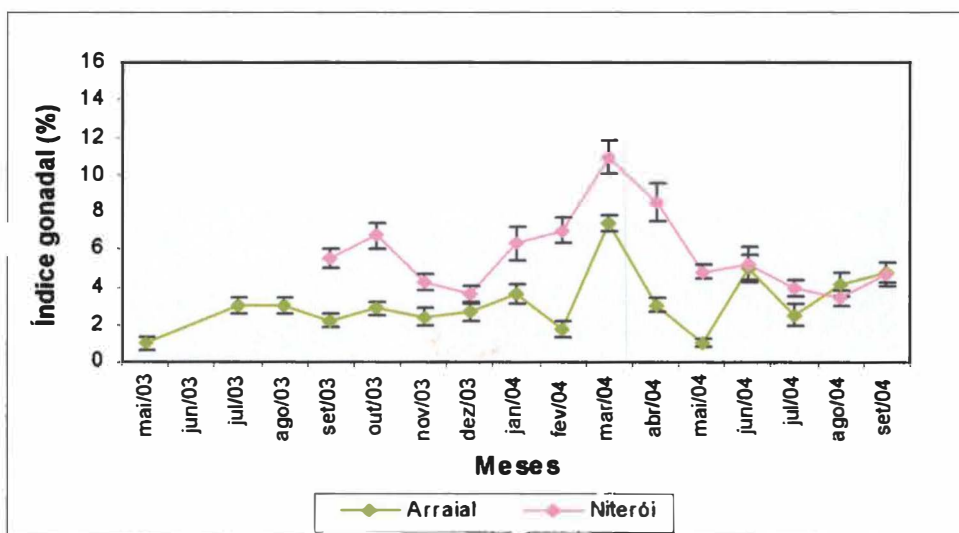


Figura 13 – *Arbacia lixula*. Variação temporal do índice gonadal nas populações da Prainha (Arraial do Cabo) e da Ponta de Itaipu (Niterói).

Tabela 2 – *Arbacia lixula*. Teste de Tukey indicando as diferenças entre os valores do índice gonadal entre os meses de coleta na população da Prainha (Arraial do Cabo).

Apenas os pares significativos foram considerados.

Comparação entre meses	Média da diferença	q	Significância	p
mai/03 x jul/03	0.08571	5.733	**	P<0.01
mai/03 x ago/03	0.08865	5.929	**	P<0.01
mai/03 x out/03	0.08307	5.390	*	P<0.05
mai/03 x jan/04	0.1068	6.752	***	P<0.001
mai/03 x mar/04	0.1861	11.930	***	P<0.001
mai/03 x abr/04	0.09085	5.746	**	P<0.01
mai/03 x jun/04	0.1443	9.252	***	P<0.001
mai/03 x ago/04	0.1158	7.424	***	P<0.001
mai/03 x set/04	0.1355	8.687	***	P<0.001
jul/03 x mar/04	0.1004	7.515	***	P<0.001
jul/03 x mai/04	-0.07254	5.606	*	P<0.05
ago/03 x mar/04	0.09745	7.295	***	P<0.001
ago/03 x mai/04	-0.07547	5.833	**	P<0.01
set/03 x mar/04	0.1304	9.108	***	P<0.001
set/03 x jun/04	0.08859	6.189	**	P<0.01
set/03 x set/04	0.07978	5.573	*	P<0.05
out/03 x mar/04	0.1030	7.426	***	P<0.001
out/03 x mai/04	-0.06990	5.189	*	P<0.05
nov/03 x mar/04	0.1214	8.624	***	P<0.001
nov/03 x jun/04	0.07966	5.657	**	P<0.01
nov/03 x set/04	0.07084	5.031	*	P<0.05
dez/03 x mar/04	0.1123	7.843	***	P<0.001
dez/03 x jun/04	0.07049	4.925	*	P<0.05
jan/04 x mar/04	0.07935	5.543	*	P<0.05
jan/04 x mai/04	-0.09358	6.721	***	P<0.001
fev/04 x mar/04	0.1383	9.489	***	P<0.001
fev/04 x jun/04	0.09654	6.623	***	P<0.001
fev/04 x set/04	0.08772	6.018	**	P<0.01
mar/04 x abr/04	-0.09525	6.654	***	P<0.001
mar/04 x mai/04	-0.1729	12.636	***	P<0.001
mar/04 x jul/04	-0.1211	8.458	***	P<0.001
mar/04 x ago/04	-0.07029	4.992	*	P<0.05
abr/04 x mai/04	-0.07767	5.578	*	P<0.05
mai/04 x jun/04	0.1312	9.584	***	P<0.001
mai/04 x ago/04	0.1026	7.500	***	P<0.001
mai/04 x set/04	0.1223	8.940	***	P<0.001
jun/04 x jul/04	-0.07930	5.540	*	P<0.05
jul/04 x set/04	0.07049	4.924	*	P<0.05

Tabela 3 – *Arbacia lixula*. Teste de Tukey indicando as diferenças entre os valores do índice gonadal entre os meses de coleta na população da Ponta de Itaipu (Niterói).

Apenas os pares significativos foram considerados.

Comparação entre meses	Média da diferença	q	Significância	p
set/03 x mar/04	-5.322	8.200	***	P<0.001
set/03 x abr/04	-2.990	4.762	*	P<0.05
out/03 x mar/04	-4.094	6.032	**	P<0.01
nov/03 x mar/04	-6.579	9.419	***	P<0.001
nov/03 x abr/04	-4.246	6.256	**	P<0.01
dez/03 x mar/04	-7.139	10.056	***	P<0.001
dez/03 x abr/04	-4.807	6.960	***	P<0.001
jan/04 x mar/04	-4.500	6.338	**	P<0.01
fev/04 x mar/04	-4.466	6.491	***	P<0.001
mar/04 x mai/04	5.974	9.204	***	P<0.001
mar/04 x jun/04	5.565	8.088	***	P<0.001
mar/04 x jul/04	6.872	9.110	***	P<0.001
mar/04 x ago/04	7.351	10.354	***	P<0.001
mar/04 x set/04	6.150	7.190	***	P<0.001
abr/04 x mai/04	3.642	5.800	**	P<0.01
abr/04 x jun/04	3.233	4.839	*	P<0.05
abr/04 x jul/04	4.539	6.166	**	P<0.01
abr/04 x ago/04	5.018	7.266	***	P<0.001

5.2.2 - Proporção sexual

A proporção entre machos e fêmeas não diferiu significativamente do esperado (1:1) (teste Qui-quadrado, $P > 0,05$). Considerando todos os indivíduos amostrados, a razão sexual encontrada foi de 1,17:1 em Arraial do Cabo e 1,4:1 em Niterói. Entretanto, variações mensais podem ser observadas nas duas populações devido ao menor número amostrado (Tabelas 4 e 5).

A maioria dos equinodermos não possui dimorfismo sexual. Em *Arbacia lixula* a diferenciação entre os sexos é possível quando ocorre a liberação de gametas. Indivíduos machos liberam “um líquido” branco e fêmeas vermelho escuro (Figura 14). Após a dissecação, a coloração das gônadas também pode ser um indicativo do sexo. Gônadas frescas apresentam coloração vinho para fêmeas e branca para machos. Depois de fixadas, essa distinção não é tão evidente. Gônadas escuras, quase pretas, ocorrem em fêmeas e gônadas claras, brancas ou amareladas ocorrem em machos. Porém, quando a coloração é amarronzada não é possível a distinção entre os sexos.



Paula C. Zama

Figura 14 – *Arbacia lixula*. Exemplos coletados liberando gametas. (A) machos; (B) fêmeas.

Tabela 4 – *Arbacia lixula*. Número e proporção sexual de machos e fêmeas na população da Prainha (Arraial do Cabo).

Meses	Machos	Fêmeas	Proporção
mai/03	6	2	3,00
jul/03	12	8	1,50
ago/03	10	10	1,00
set/03	9	4	2,25
out/03	9	8	1,13
nov/03	8	8	1,00
dez/03	8	6	1,33
jan/04	10	5	2,00
fev/04	6	7	0,86
mar/04	8	8	1,00
abr/04	8	6	1,33
mai/04	5	9	0,56
jun/04	8	8	1,00
jul/04	9	4	2,25
ago/04	7	9	0,78
set/04	7	9	0,78
Total	130	111	1,17

Tabela 5 – *Arbacia lixula*. Número e proporção sexual de machos e fêmeas na população da Ponta de Itaipu (Niterói).

Meses	Machos	Fêmeas	Proporção
set/03	9	13	0,69
out/03	10	5	2,00
nov/03	6	10	0,60
dez/03	10	4	2,50
jan/04	11	4	2,75
fev/04	12	5	2,40
mar/04	9	7	1,29
abr/04	11	7	1,57
mai/04	12	9	1,33
jun/04	8	9	0,89
jul/04	9	3	3,00
ago/04	10	5	2,00
set/04	3	5	0,60
Total	120	86	1,40

5.2.3 – Descrição dos estágios gametogênicos

5.2.3.1 – Espermatogênese

Estágio I - Recuperação: os testículos em recuperação apresentam ácinos com paredes pregueadas e com grande quantidade de tecido nutritivo. Podem ser encontrados espermatozóides remanescentes no lúmen (Figura 15 A e B).

Estágio II - Crescimento: estágio caracterizado pela presença de colunas esperáticas partindo da parede e espermatozóides acumulados no lúmen. Ácinos com a parede grossa e presença de tecido nutritivo (Figura 15 C).

Estágio III - Maduro: os testículos maduros apresentam ácinos repletos de espermatozóides e parede fina, podendo ou não conter tecido nutritivo (Figura 15 D e E).

Estágio IV - Liberação: a liberação é caracterizada por um espaço entre a parede do ácino e a massa de gametas no lúmen. A quantidade de espermatozóides no lúmen é menor do que no estágio anterior (Figura 15 F e G).

Estágio V - Vazio: presença de ácinos com parede fina e tecido nutritivo na periferia. Espermatozóides relictos ainda podem ser encontrados (Figura 15 H).

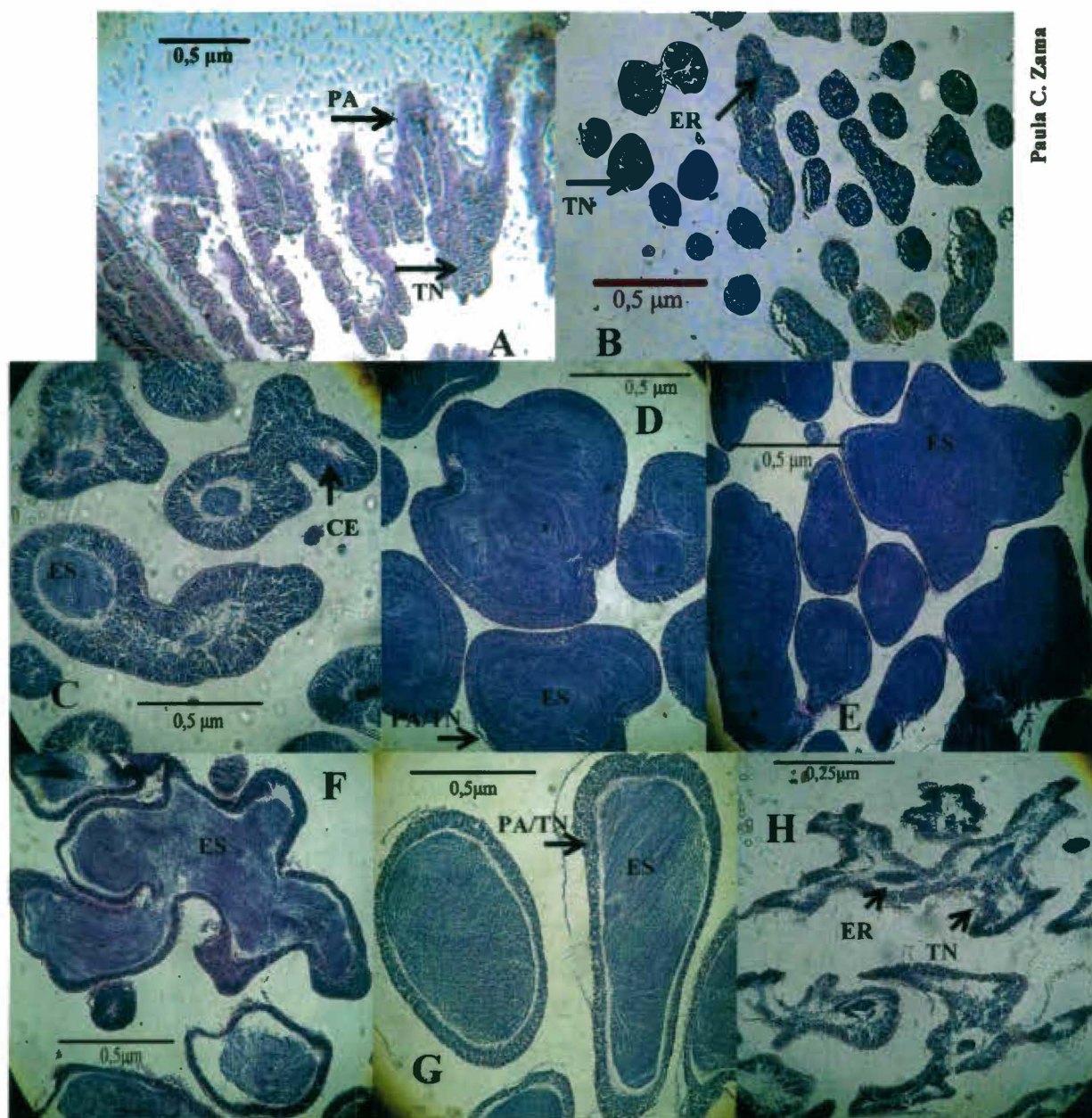


Figura 15 – *Arbacia lixula*. Espermatogênese: (A – B) Estágio I – Recuperação; (C) Estágio II – Crescimento; (D - E) Estágio III – Maduro; (F – G) Estágio IV – Liberação; e (H) Estágio V – Vazio. CE: colunas espermáticas, ES: espermatozóides, ER: espermatozóides relíctos, PA: parede do ácino, TN: tecido nutritivo.

5.2.3.2 – Ovogênese

Estágio I - Recuperação: ovários com grande quantidade de tecido nutritivo. Podem estar presentes ovócitos em processo de lise (Figura 16 A).

Estágio II - Crescimento: estágio caracterizado pela presença de ovócitos em forma de pêra na parede dos ácidos, que pode ser grossa e conter ovócitos primário e tecido nutritivo. O lúmen pode conter ovócitos com vários tamanhos diferentes (Figura 16 C). Esse estágio foi observado ocorrendo simultaneamente com os estágios de recuperação (Figura 16 B) e liberação (Figura 16 H).

Estágio III - Maduro: os ovários maduros apresentam ácidos com parede fina e grande quantidade de ovócitos maduros no lúmen. Ovócitos primário e tecido nutritivo podem estar presentes na periferia do ácido (Figura 16 D e E).

Estágio IV - Liberação: a parede do ácido em liberação ainda é fina podendo conter ovócitos de formas diferentes, lúmen com ovócitos separados por espaços vazios (Figura 16 F e G).

Estágio V - Vazio: ácidos com paredes muito finas, podendo ou não conter ovócitos remanescentes no lúmen. O tecido nutritivo pode estar presente (Figura 16 I).

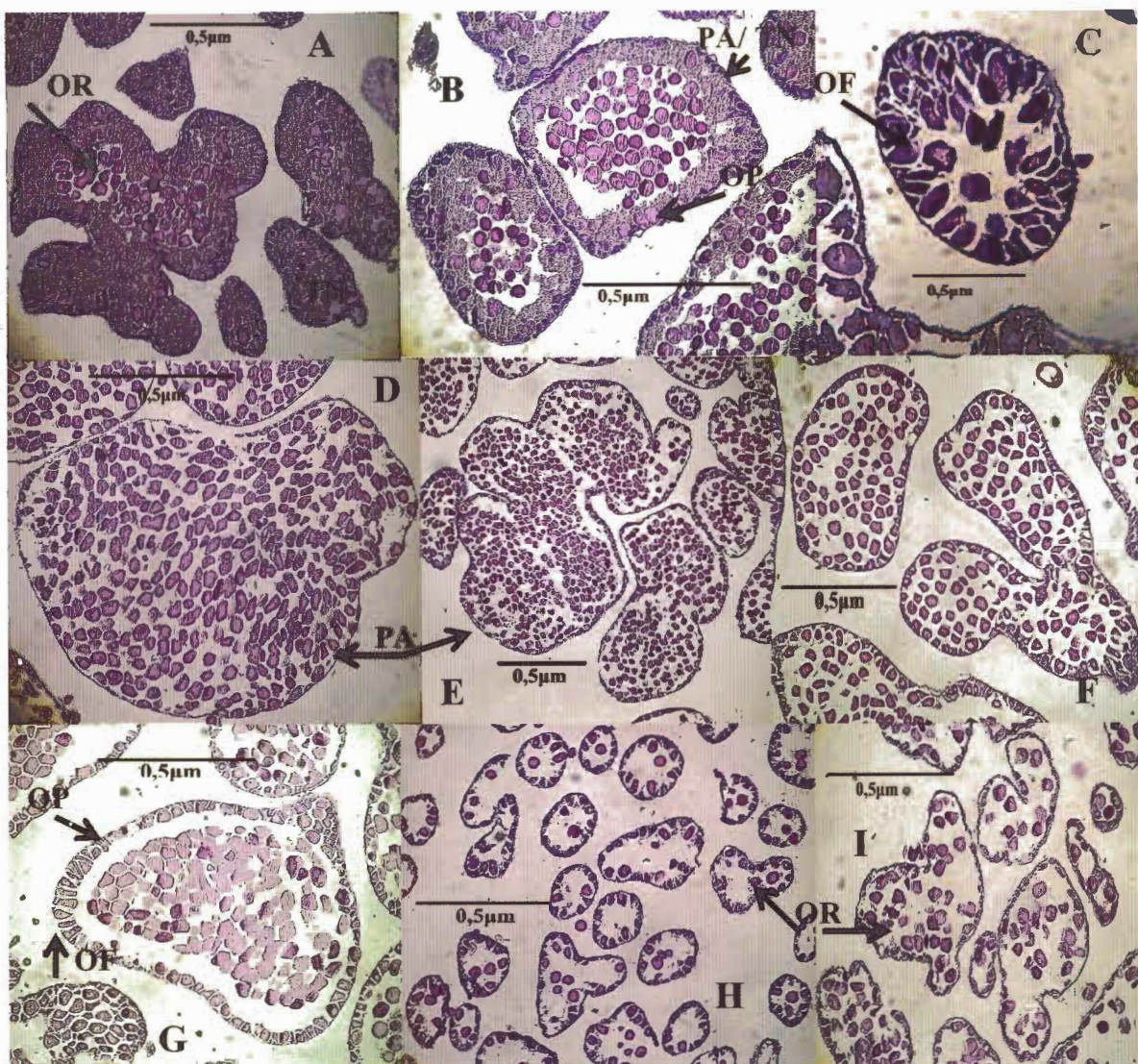


Figura 16 – *Arbacia lixula*. Ovogênese: (A) Estágio I – Recuperação; (B) Estágio I e II – Recuperação e Crescimento, (C) Estágio II – Crescimento; (D – E) Estágio III – Maduro; (F) Estágio IV – Liberação; (G) Estágio IV e II – Liberação e Crescimento; e (H - I) Estágio V – Vazio. OF: ovócitos em forma de pêra, OP: ovócitos primários, OR: ovócitos remanescentes, PA: parede do ácino, TN: tecido nutritivo.

5.2.4 – Ciclo gametogênico

Foram coletados 466 indivíduos do ouriço-do-mar *Arbacia lixula*. Desses, 461 foram analisados histologicamente, sendo 250 de Arraial do Cabo e 211 de Niterói. Quatorze equinóides não tiveram o sexo identificado devido à ausência de gametas nos órgãos sexuais. Esses indivíduos de sexo indeterminado foram considerados no estágio vazio de desenvolvimento gonadal (Tabela 6 e 7).

A população amostrada em Arraial do Cabo foi representada por 111 fêmeas, 130 machos e 9 indivíduos com sexo indeterminado. Quando machos e fêmeas foram analisados conjuntamente, predominaram os estágios gametogênicos maduro, vazio e liberação. Apenas 12 indivíduos foram encontrados no estágio de recuperação (Tabela 6, Figura 17 A). Separadamente, pode-se notar que o estágio maduro foi predominante nos indivíduos machos. Apenas um foi encontrado em recuperação e cinco no estágio vazio. Para fêmeas, predominaram o estágio vazio e liberação, e o estágio maduro não foi registrado. Os picos do índice gonadal ocorreram nos meses de março e junho de 2004 e coincidiram com a maioria dos indivíduos nos estágios maduro para machos e liberação para fêmeas. Diferenças interanuais podem ser observadas no ciclo amostrado para os equinóides coletados. Diferenças entre a ocorrência dos estágios de desenvolvimento foram observadas em machos nos meses de maio de 2003 e 2004, e em fêmeas nos meses de setembro de 2003 e 2004. Já a frequência dos estágios diferiu nos meses de agosto e setembro de 2003 e 2004 para machos, e julho de 2003 e 2004 para fêmeas (Figura 18).

Em Niterói, a população amostrada foi representada por 86 fêmeas, 120 machos e cinco indivíduos de sexo indeterminado. No geral predominaram os

estágios gametogênicos maduro e liberação, e apenas quatro equinóides foram encontrados em recuperação (Tabela 7, Figura 17B). A maioria dos machos observados estava no estágio maduro e os picos de índice gonadal coincidiram com a predominância deste estágio. Já nas fêmeas, predominaram os estágios liberação e vazio, sendo os outros estágios de desenvolvimento pouco representativos. A variação do índice gonadal das fêmeas apresentou três picos, nos meses de outubro de 2003 e janeiro e março de 2004. Esses picos coincidiram com a predominância do estágio de liberação, assim como ocorreu para as fêmeas de Arraial do Cabo. Diferenças interanuais também podem ser observadas nos meses de setembro de 2003 e 2004. Para os machos, a diferença ocorreu no aparecimento dos estágios liberação em 2003 e recuperação em 2004, além do estágio maduro. E para as fêmeas além do estágio vazio, a ocorrência do estágio liberação em 2003 e crescimento em 2004 (Figura 19).

A relação entre o índice gonadal e os estágios gametogênicos foi semelhante para as duas populações estudadas. Os picos do índice gonadal coincidiram com a predominância de machos maduros e fêmeas em liberação em ambas as populações e o pico mais representativo também aconteceu no mesmo mês (março de 2004) (Figura 17). As frequências totais dos estágios de desenvolvimento e a assincronia do ciclo também parecem não diferir entre as populações amostradas em Arraial do Cabo e Niterói.

Tabela 6 – *Arbacia lixula*. Distribuição dos estágios gametogênicos nos indivíduos amostrados na Prainha (Arraial do Cabo) (I = indivíduos de sexo indeterminado). A tabela não inclui os indivíduos sem gônadas.

Meses	Fêmeas					Machos					I	Total				
	I	II	III	IV	V	I	II	III	IV	V	V	I	II	III	IV	V
mai/03	0	0	0	1	1	0	0	2	2	2	1	0	0	2	3	4
jun/03	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
jul/03	0	0	0	3	5	0	4	8	0	0	0	0	4	8	3	5
ago/03	0	0	0	2	8	0	7	3	0	0	0	0	7	3	2	8
set/03	0	1	0	1	2	0	7	1	1	0	0	0	8	1	2	2
out/03	0	0	0	2	6	1	0	6	2	0	0	1	0	6	4	6
nov/03	1	0	0	2	5	0	0	7	1	0	0	1	0	7	3	5
dez/03	3	0	0	0	3	0	3	3	2	0	1	3	3	3	2	4
jan/04	4	0	0	1	0	0	2	6	2	0	0	4	2	6	3	0
fev/04	3	3	0	0	1	0	1	5	0	0	0	3	4	5	0	1
mar/04	0	0	0	7	1	0	0	8	0	0	0	0	0	8	7	1
abr/04	0	0	0	4	2	0	0	1	7	0	1	0	0	1	11	3
mai/04	0	0	0	0	9	0	3	0	0	2	4	0	3	0	0	15
jun/04	0	0	0	6	2	0	1	7	0	0	0	0	1	7	6	2
jul/04	0	0	0	2	2	0	1	6	1	1	2	0	1	6	3	5
ago/04	0	0	0	2	7	0	1	6	0	0	0	0	1	6	2	7
set/04	0	0	0	8	1	0	4	3	0	0	0	0	4	3	8	1
Total	11	4	0	41	55	1	34	72	18	5	9	12	38	72	59	69

Tabela 7 – *Arbacia lixula*. Distribuição dos estágios gametogênicos nos indivíduos amostrados na Ponta de Itaipu (Niterói) (I = indivíduos de sexo indeterminado).

Meses	Fêmeas					Machos					I	Total				
	I	II	III	IV	V	I	II	III	IV	V	V	I	II	III	IV	V
set/03	0	0	0	4	9	0	0	4	5	0	0	0	0	4	9	9
out/03	0	0	0	5	0	0	0	10	0	0	3	0	0	10	5	3
nov/03	0	0	0	3	7	1	3	2	0	0	0	1	3	2	3	7
dez/03	0	0	0	1	3	0	9	1	0	0	1	0	9	1	1	4
jan/04	0	0	1	3	0	0	3	4	4	0	0	0	3	5	7	0
fev/04	0	0	0	4	1	0	0	11	0	1	0	0	0	11	4	2
mar/04	0	0	2	4	1	0	0	8	1	0	0	0	0	10	5	1
abr/04	0	0	2	3	2	0	0	11	0	0	0	0	0	13	3	2
mai/04	0	0	0	6	3	0	3	0	9	0	1	0	3	0	15	4
jun/04	1	3	0	1	4	0	0	7	1	0	0	1	3	7	2	4
jul/04	0	0	0	1	2	0	1	2	6	0	0	0	1	2	7	2
ago/04	0	4	0	1	0	0	6	4	0	0	0	0	10	4	1	0
set/04	0	2	0	0	3	2	0	1	0	0	0	2	2	1	0	3
Total	1	9	5	36	35	3	25	65	26	1	5	4	34	70	62	41

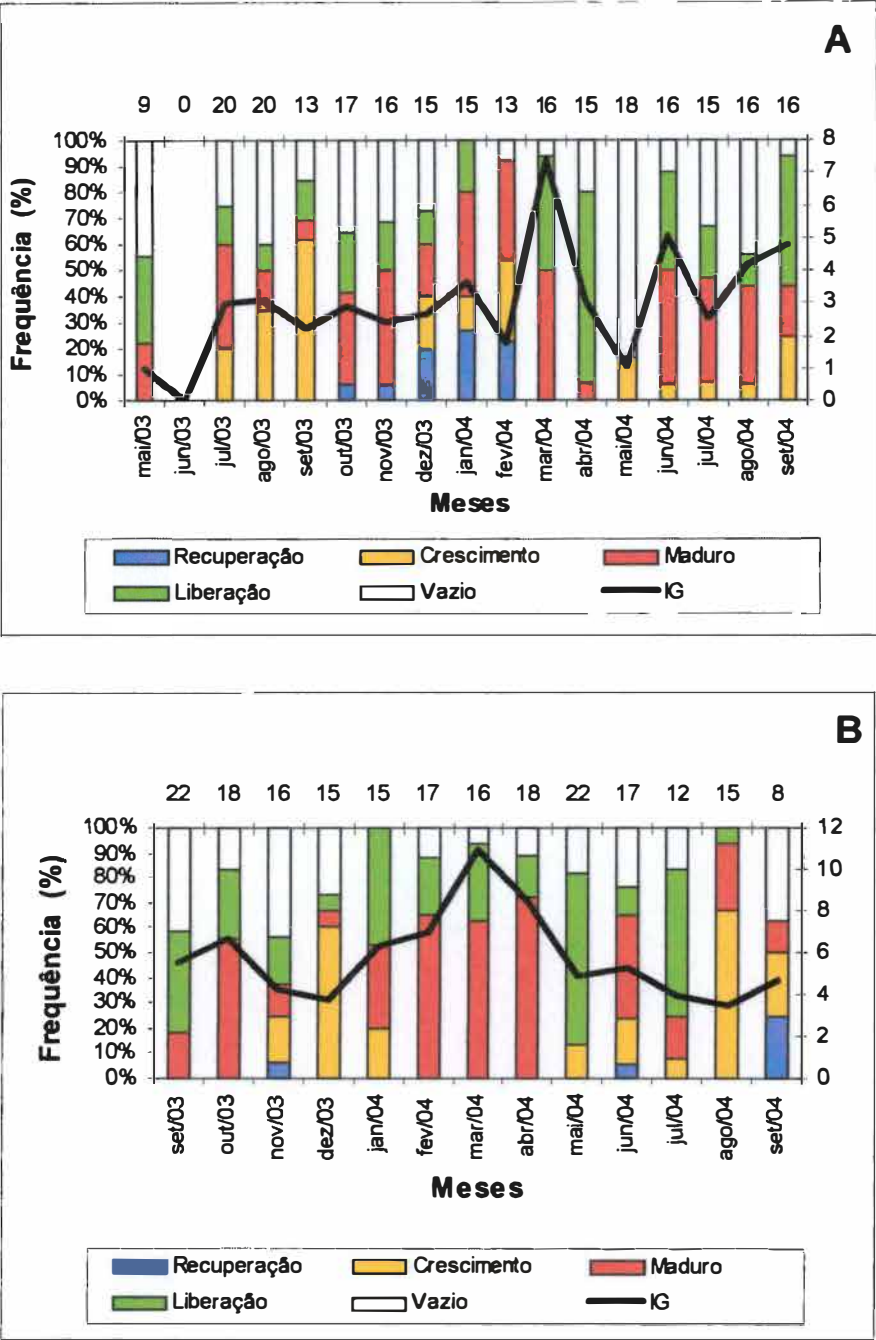


Figura 17 – *Arbacia lixula*. Variação do índice gonadal e dos estágios gametogênicos de machos e fêmeas (combinados) nas populações da Prainha (Arraial do Cabo) (A) e da Ponta de Itaipu (Niterói) (B). Os valores acima das colunas representam o número amostral mensal.

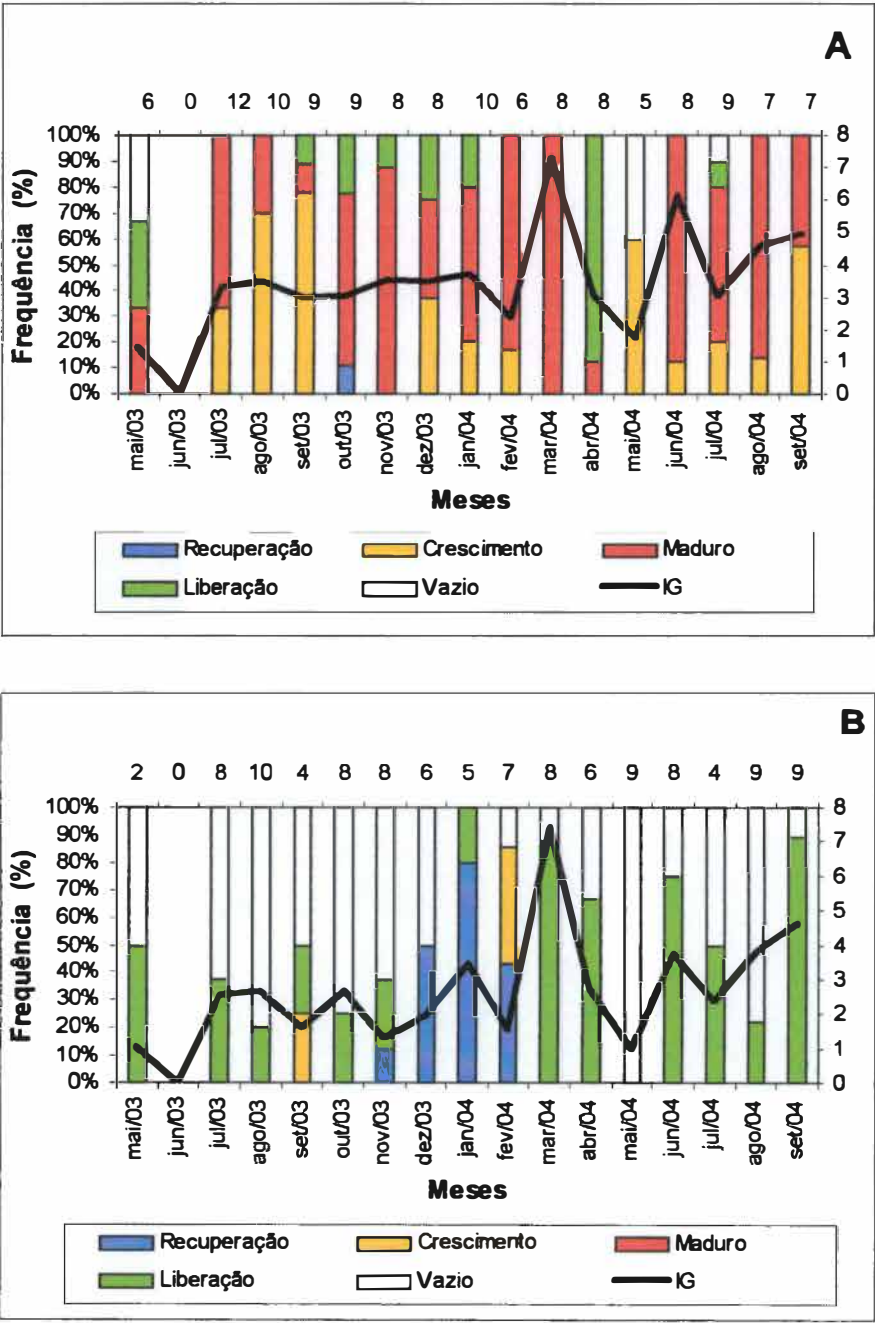


Figura 18 – *Arbacia lixula*. Variação do índice gonadal e dos estágios gametogênicos de machos (A) e fêmeas (B) na população da Prainha (Arraial do Cabo). Os valores acima das colunas representam o número amostral mensal.

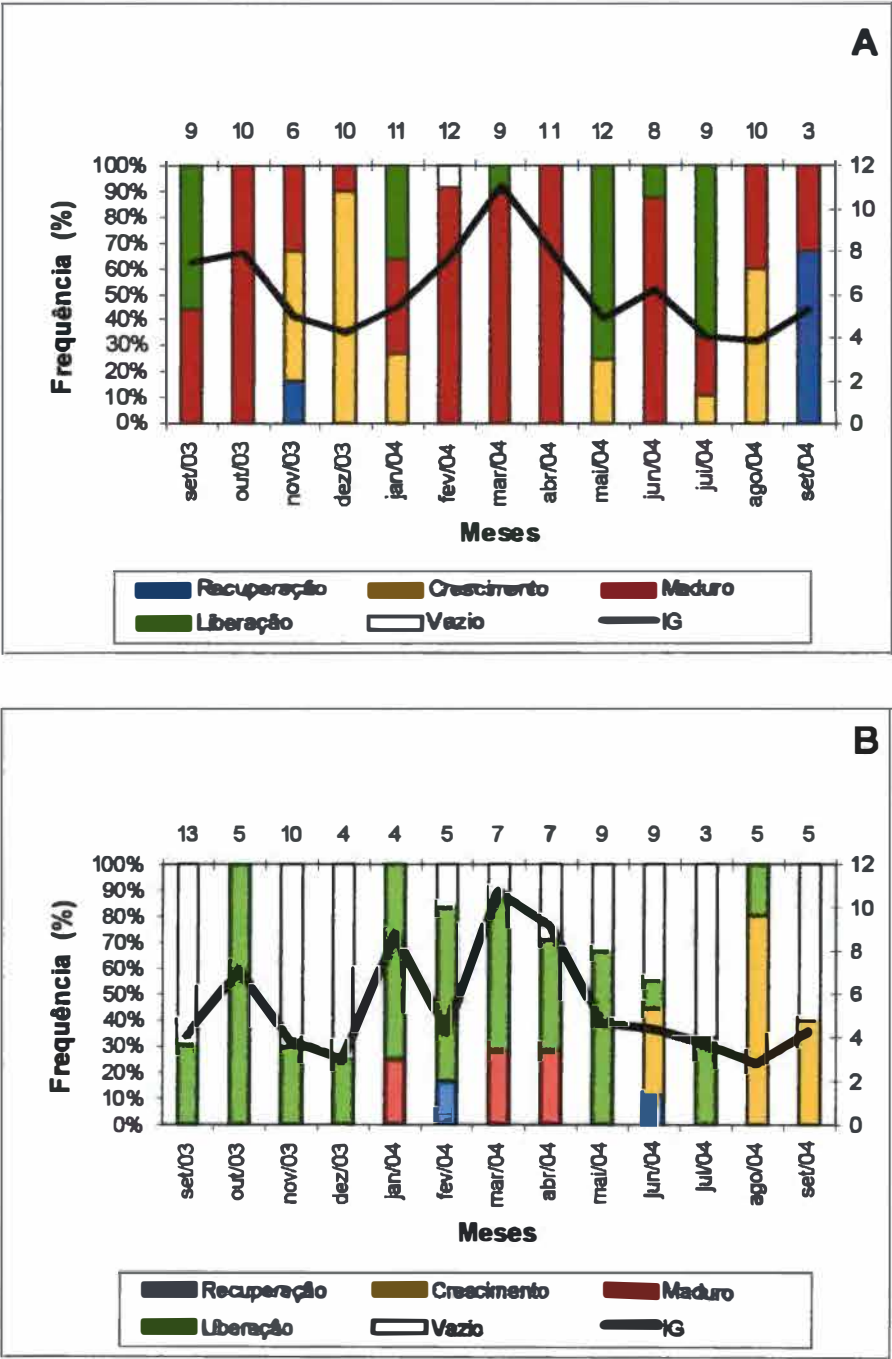


Figura 19 – *Arbacia lixula*. Variação do índice gonadal e dos estágios gametogênicos de machos (A) e fêmeas (B) na população da Ponta de Itaipu (Niterói). Os valores acima das colunas representam o número amostral mensal.

5.2.5 – Índice de maturidade

Na população amostrada em Arraial do Cabo, nota-se uma maior frequência de fêmeas nos estágios de liberação e vazio, o que é confirmado pela homogeneidade da amostra nesses pontos. A velocidade do ciclo pode ser percebida pela rapidez do processo gametogênico, como ocorre claramente em fevereiro e março de 2004, onde os indivíduos passam rapidamente de um estágio de recuperação para o de liberação (Figura 20A). Essa velocidade também pode ser notada para os machos entre os meses de agosto e setembro de 2004 (Figura 20B). A maturação das gônadas parece não ter um tempo certo, isso pode ser percebido através das diferenças interanuais que ocorrem principalmente nos indivíduos machos. Em maio de 2003, a maioria dos machos se encontrava no estágio de liberação. Já, no mesmo mês do ano seguinte, nota-se que predomina o estágio de recuperação. A mesma situação ocorre em setembro de 2003, quando os machos estão no início do crescimento, e no ano seguinte se encontram no final do estágio de liberação. Entretanto, a amostra nesses meses é mais homogênea do que em maio de 2003 (Figura 20B).

Para a população de Niterói, a situação parece ser semelhante. A amostra continua sendo mais homogênea nos estágios de liberação e vazio para fêmeas, e maduro para machos. A rapidez do ciclo e do tempo de maturação também pode ser percebida (Figura 21). Porém, as diferenças interanuais não são tão claras como na população de Arraial do Cabo, devido ao menor tempo de amostragem dessa população.

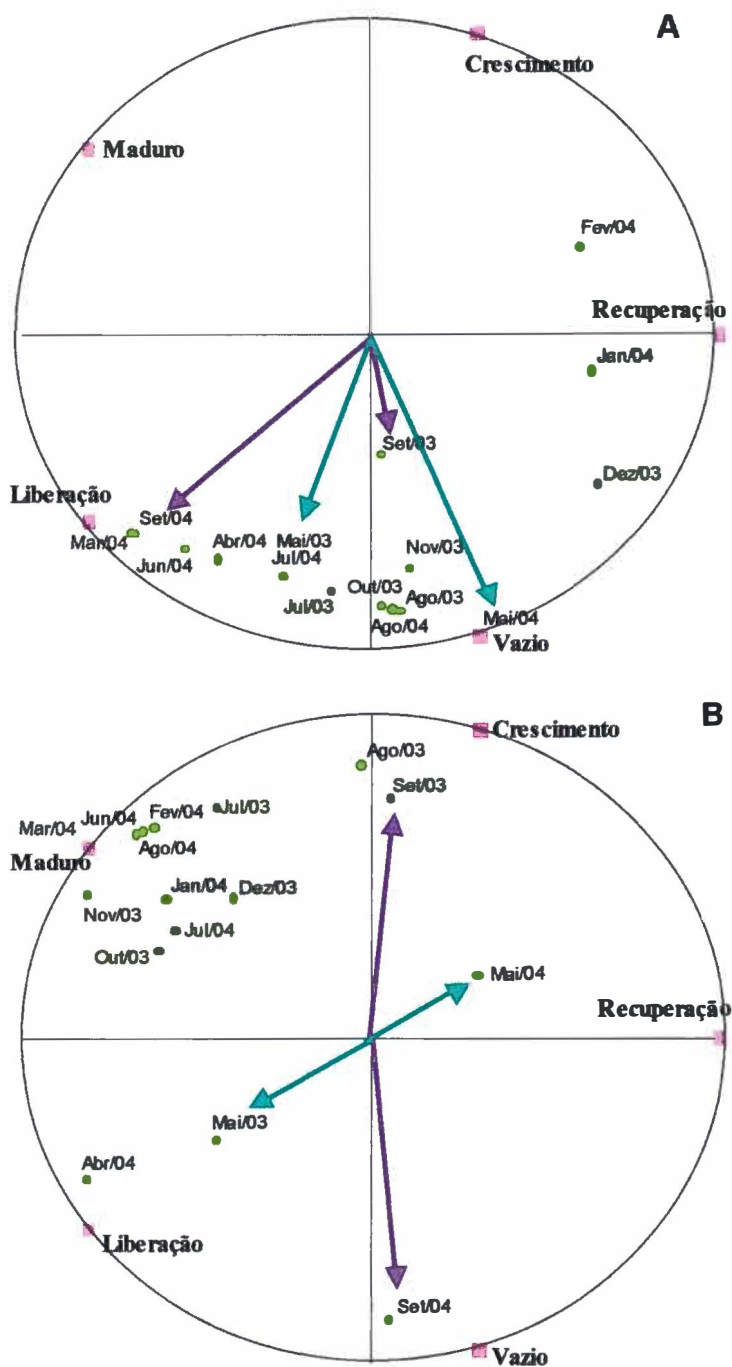


Figura 20 – *Arbacia lixula*. Índice de maturidade de fêmeas (A) e machos (B) na população da Prainha (Arraial do Cabo). O círculo representa todo o ciclo gonadal (em sentido anti-horário). Os pontos representam os valores do índice de maturidade de cada mês. Quanto mais próxima da origem, menos homogênea é a amostra. Os vetores representam as diferenças interanuais dos estágios de desenvolvimento.

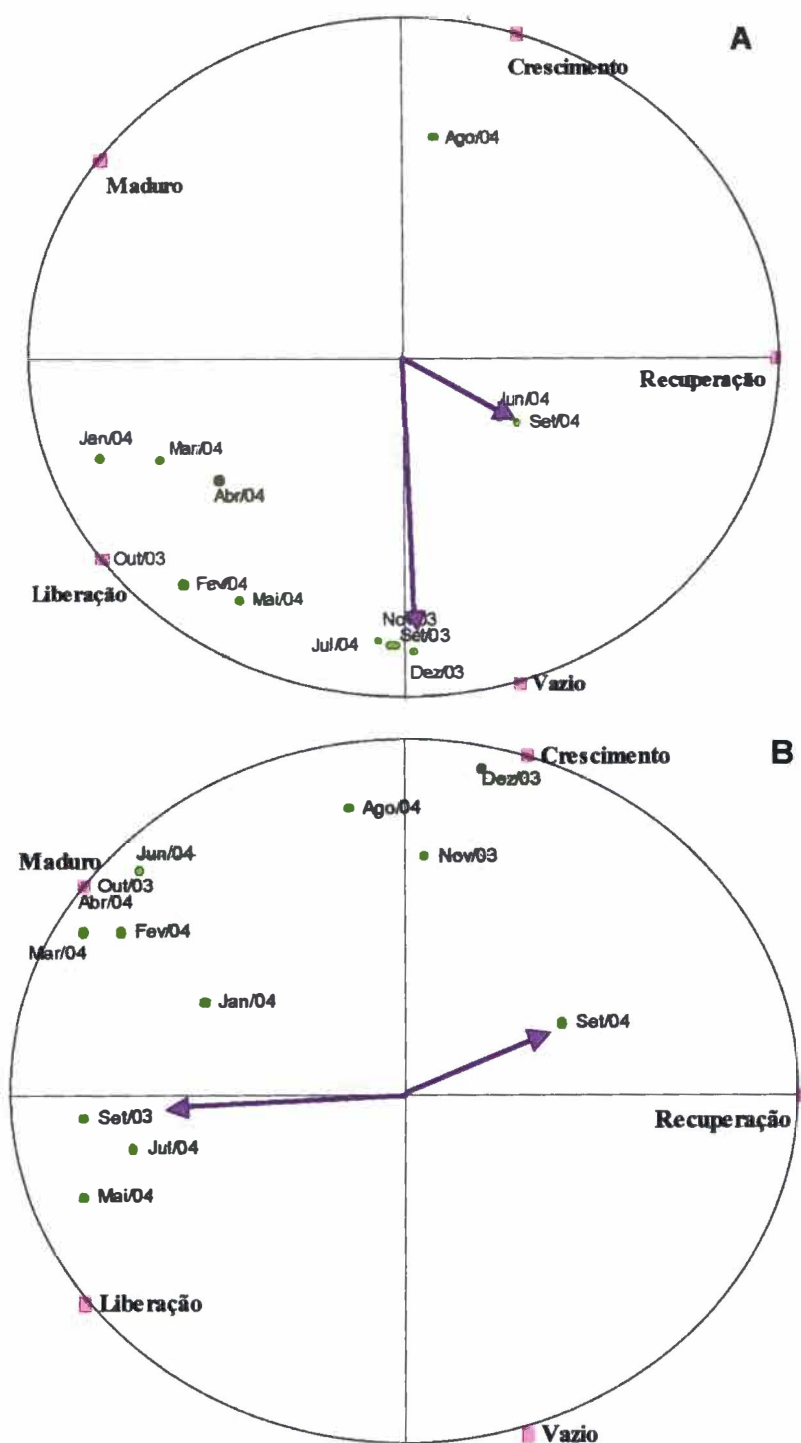


Figura 21 – *Arbacia lixula*. Índice de maturidade de fêmeas (A) e machos (B) na população da Ponta de Itaipu (Niterói). O círculo representa todo o ciclo gonadal (em sentido anti-horário). Os pontos representam os valores do índice de maturidade de cada mês. Quanto mais próxima da origem, menos homogênea é a amostra. Os vetores representam as diferenças interanuais dos estágios de desenvolvimento.

5.2.6 - Relação entre o índice gonadal e o ciclo gametogênico

Essa análise mostra quanto o índice gonadal (peso relativo das gônadas) está relacionado aos estágios gametogênicos.

Na população de Arraial do Cabo, os maiores erros foram encontrados para machos no estágio IV (liberação) e fêmeas nos estágios I e IV (recuperação e crescimento). Já os maiores desvios foram encontrados em machos no estágio III (maduro) e fêmeas no estágio IV (liberação). Nos machos, os maiores índices gonadais encontrados foram em indivíduos maduros e nas fêmeas, em equinóides em liberação, já que não foram encontradas fêmeas maduras em Arraial do Cabo (Figura 22).

Nos indivíduos amostrados em Niterói, os maiores erros ocorreram em machos no estágio I (recuperação) e fêmeas no estágio III (maduro). Os desvios encontrados foram maiores em machos e fêmeas nos estágios III e IV (maduro e liberação). Como ocorreu na população de Arraial do Cabo, os maiores índices gonadais encontrados na população de Niterói também foram em indivíduos maduros, tanto machos quanto fêmeas (Figura 23).

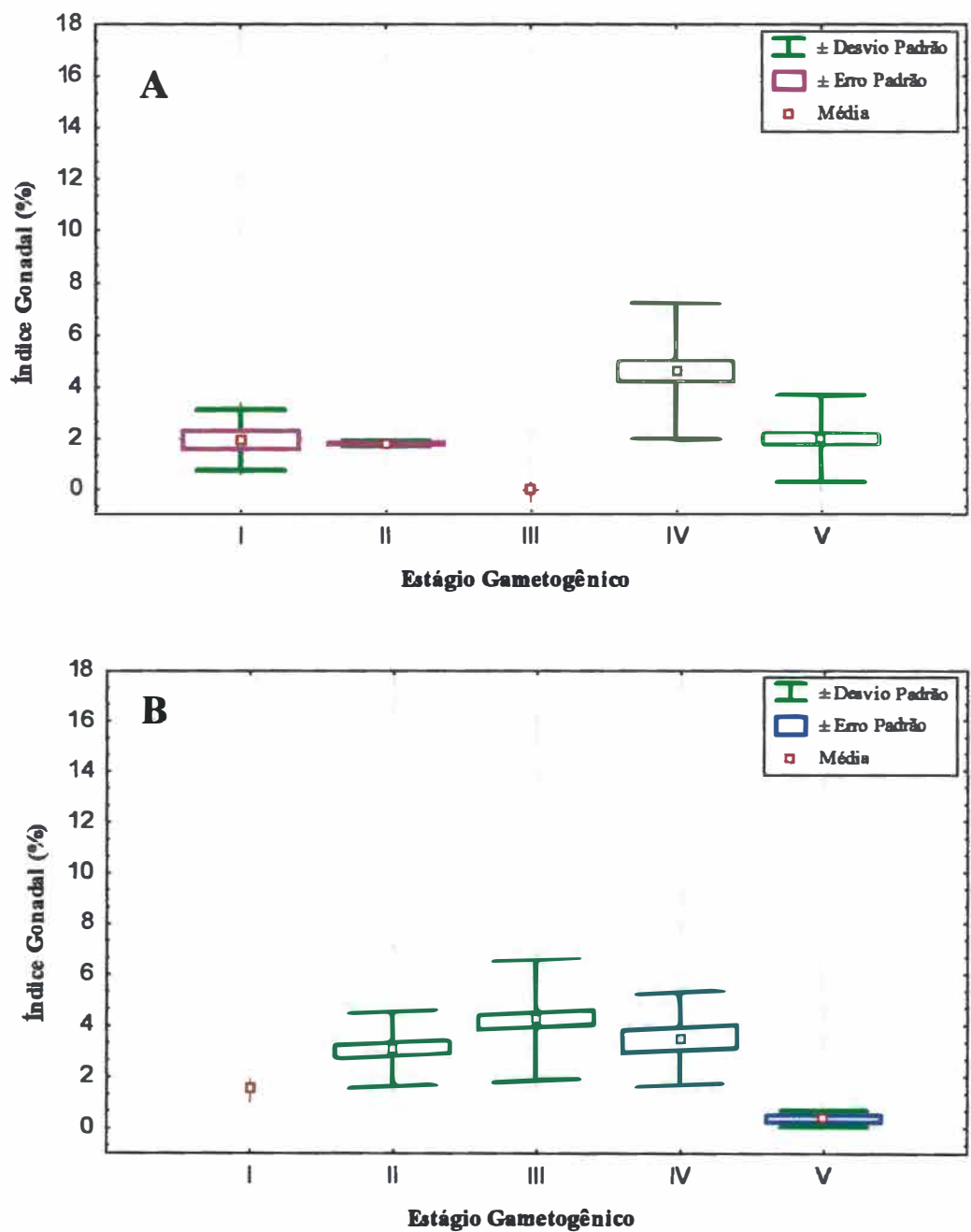


Figura 22 – *Arbacia lixula*. Relação entre os estágios gametogênicos e o índice gonadal de fêmeas (A) e machos (B) da população da Prainha (Arraial do Cabo).
I – Recuperação; II – Crescimento; III – Maduro; IV – Liberação; V – Vazio.

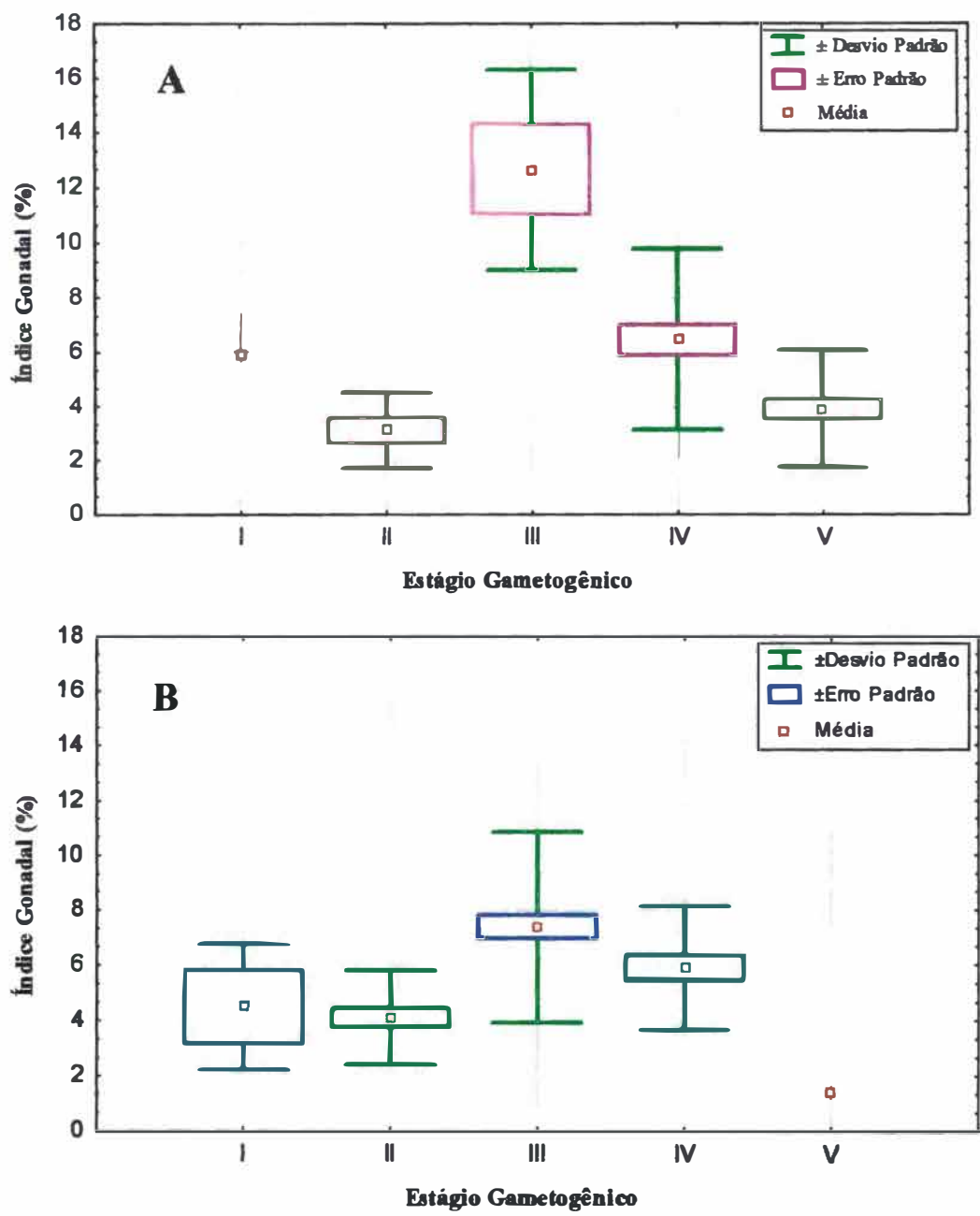


Figura 23 – *Arbacia lixula*. Relação entre os estágios gametogênicos e o índice gonadal de fêmeas (A) e machos (B) da população da Ponta de Itaipu (Niterói).
I – Recuperação; II – Crescimento; III – Maduro; IV – Liberação; V – Vazio.

5.2.7 – Distribuição dos diâmetros dos ovócitos

Os ovócitos medidos na população de Arraial do Cabo apresentaram diâmetros mínimo de 9,6 μm e máximo de 84,786 μm . A média mensal do valores do diâmetro variou de 39,96 μm (fevereiro de 2004) a 51,74 μm (março de 2004) (Tabela 8). Dos ovócitos analisados, 67% apresentaram diâmetros < 50 μm , sendo que destes 2% foram menores que 25 μm e a maioria ocorreu nos meses de maio e novembro de 2003 e agosto de 2004. Dos 33% que apresentaram diâmetros > 50 μm apenas 1% foi maior que 75 μm e ocorreu principalmente no mês de março de 2004 (Figura 24).

Na população de Niterói, os ovócitos mensurados apresentaram diâmetros mínimo de 13,044 μm e máximo de 78,264 μm . O diâmetro médio mensal dos ovócitos variou de 38,35 μm (julho de 2004) a 47,14 μm (março de 2004) (Tabela 8). A maioria dos ovócitos analisados apresentou diâmetros < 50 μm (76%), sendo que destes 2% foram menores que 25 μm e ocorreram principalmente de maio a agosto de 2004. Já os 24% que apresentaram diâmetros > 50 μm apenas 1% foi maior que 75 μm e ocorreu somente em abril, agosto e setembro de 2004 (Figura 25).

Tabela 8 – *Arbacia lixula*. Média mensal dos diâmetros dos ovócitos mensurados nas populações da Prainha (Arraial do Cabo) e da Ponta de Itaipu (Niterói).

Meses	Média mensal dos diâmetros dos ovócitos	
	Prainha(Arraial do Cabo)	Ponta de Itaipu (Niterói)
mai/03	44,01	-
jul/03	47,30	-
ago/03	47,83	-
set/03	50,45	42,02
out/03	44,83	46,21
nov/03	41,79	42,33
dez/03	43,77	42,91
jan/04	42,93	44,02
fev/04	39,96	41,68
mar/04	51,74	47,14
abr/04	43,42	42,18
mai/04	41,83	39,13
jun/04	46,09	39,01
jul/04	41,22	38,35
ago/04	41,12	42,72
set/04	47,10	44,61

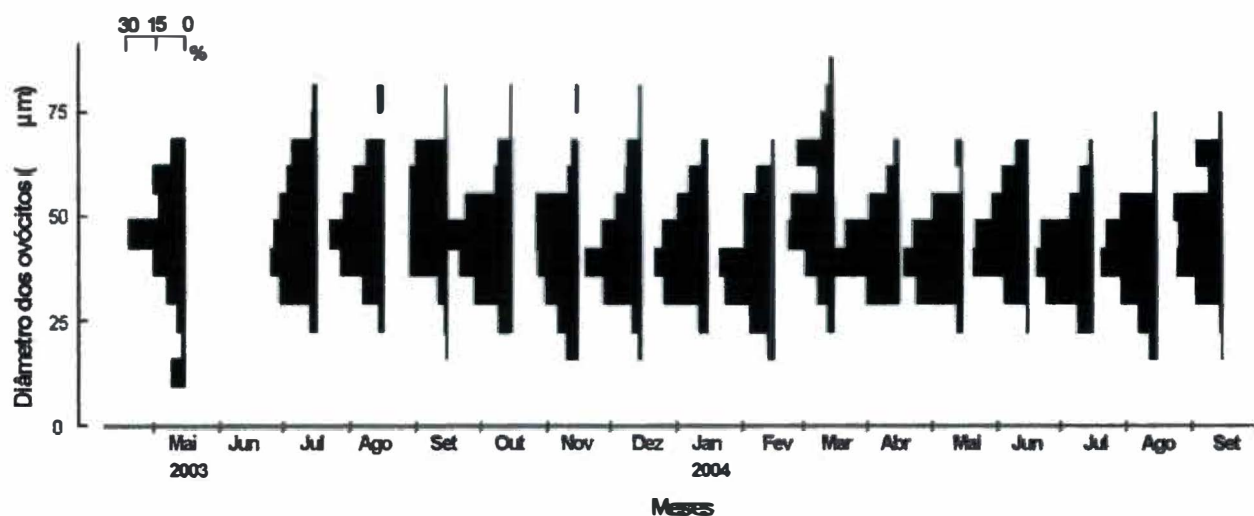


Figura 24 – *Arbacia lixula*. Distribuição da frequência dos diâmetros dos ovócitos na população da Prainha (Arraial do Cabo).

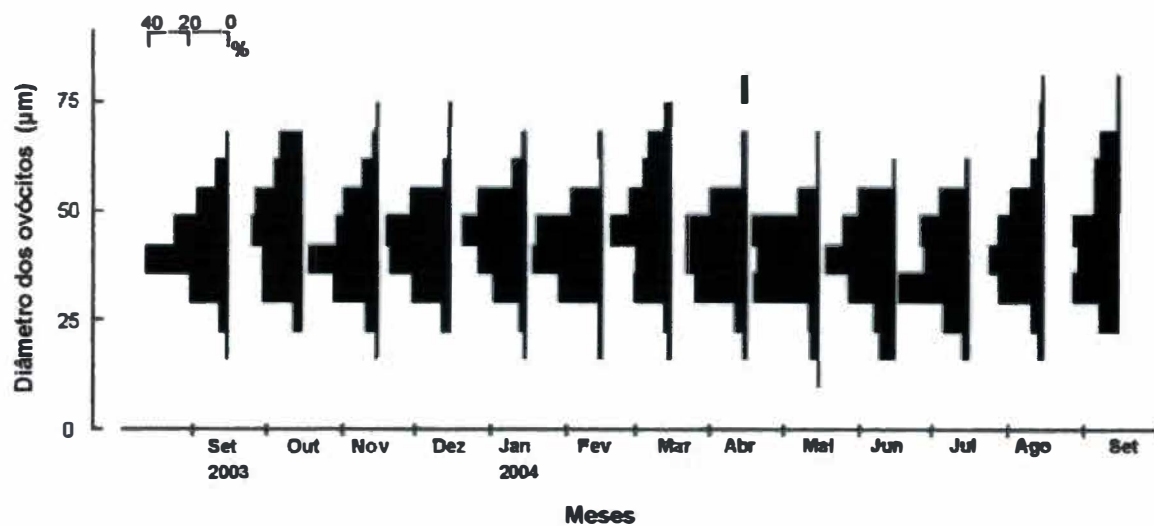


Figura 25 – *Arbacia lixula*. Distribuição da frequência dos diâmetros dos ovócitos na população da Ponta de Itaipu (Niterói).

5.2.8 - Variação do índice intestinal

A variação temporal do índice intestinal mostra uma curva mais estável para a população de Niterói, e picos e quedas constantes para a população de Arraial do Cabo. A média dos valores foi maior na população de Arraial do Cabo em quase todos os meses amostrados, exceto em outubro de 2003 e abril e agosto de 2004. Os valores médios variaram de 6,5 a 12,07% na população de Arraial do Cabo, e 6,25 a 8,69% na população de Niterói (Figura 26).

O índice intestinal foi significativamente diferente dentro das duas populações (Tabela 9 e 10). Os valores do índice intestinal também foram significativamente diferentes entre as duas populações ($F = 2,429$; $P < 0.0001$).

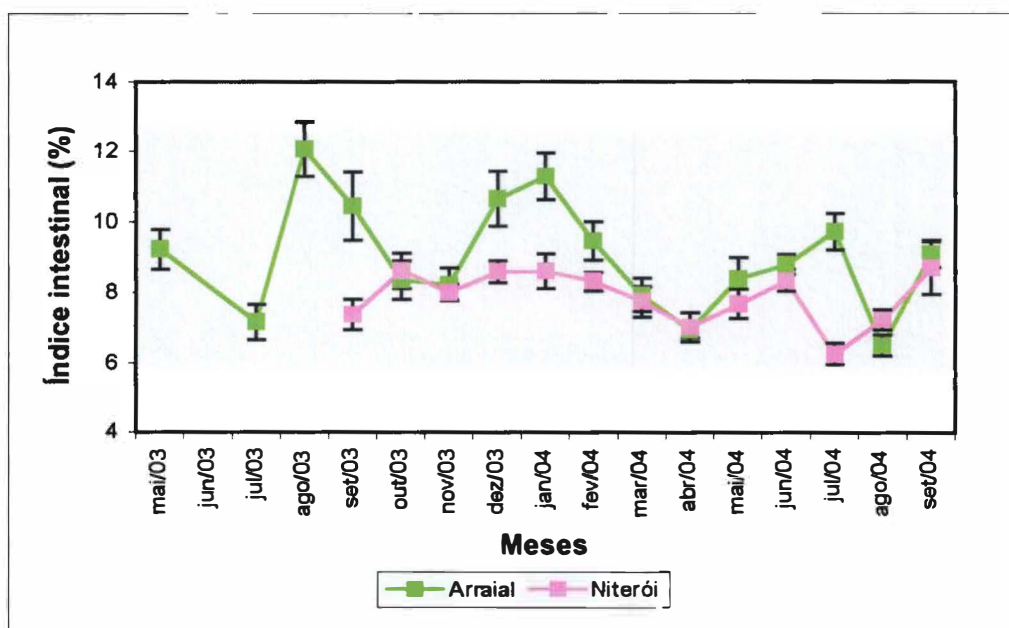


Figura 26 – *Arbacia lixula*. Variação temporal do índice intestinal na população da Prainha (Arraial do Cabo) e da Ponta de Itaipu (Niterói).

Tabela 9 – *Arbacia lixula*. Teste de Tukey indicando as diferenças entre os valores do índice intestinal entre os meses de coleta na população da Prainha (Arraial do Cabo).

Apenas os pares significativos foram considerados.

Comparação entre meses	Média da diferença	q	Significância	p
jul/03 x ago/03	-4.896	9.533	***	P<0.001
jul/03 x set/03	-3.267	5.889	**	P<0.01
jul/03 x dez/03	-3.474	6.263	**	P<0.01
jul/03 x jan/04	-4.115	7.418	***	P<0.001
ago/03 x out/03	3.712	6.929	***	P<0.001
ago/03 x nov/03	3.838	7.047	***	P<0.001
ago/03 x mar/04	4.229	7.764	***	P<0.001
ago/03 x abr/04	5.139	9.265	***	P<0.001
ago/03 x mai/04	3.687	6.989	***	P<0.001
ago/03 x jun/04	3.275	6.013	**	P<0.01
ago/03 x ago/04	5.566	10.218	***	P<0.001
ago/03 x set/04	2.978	5.468	*	P<0.05
set/03 x abr/04	3.510	5.919	**	P<0.01
set/03 x ago/04	3.937	6.745	***	P<0.001
out/03 x jan/04	-2.931	5.095	*	P<0.05
nov/03 x jan/04	-3.057	5.238	*	P<0.05
dez/03 x abr/04	3.717	6.269	**	P<0.01
dez/03 x ago/04	4.144	7.100	***	P<0.001
jan/04 x mar/04	3.448	5.908	**	P<0.01
jan/04 x abr/04	4.358	7.350	***	P<0.001
jan/04 x mai/04	2.906	5.119	*	P<0.05
jan/04 x ago/04	4.785	8.198	***	P<0.001
fev/04 x ago/04	2.948	4.961	*	P<0.05
jul/04 x ago/04	3.213	5.506	*	P<0.05

Tabela 10 – *Arbacia lixula*. Teste de Tukey indicando as diferenças entre os valores do índice intestinal entre os meses de coleta na população da Ponta de Itaipu

(Niterói). Apenas os pares significativos foram considerados.

Comparação entre meses	Média da diferença	q	Significância	p
out/03 x jul/04	2.358	5.401	*	P<0.05
dez/03 x jul/04	2.336	5.147	*	P<0.05
jan/04 x jul/04	2.345	5.167	*	P<0.05
fev/04 x jul/04	2.210	5.002	*	P<0.05

6 – Discussão

As variações dos parâmetros morfológicos em *Arbacia lixula* parecem estar relacionadas às diferentes condições ambientais das áreas estudadas. Em geral, equinóides regulares exibem muitas respostas fenotípicas a mudanças no ambiente em que vivem (RUSSEL, 1998).

As relações entre o peso, o diâmetro e a altura da carapaça encontradas em *Arbacia lixula* mostram que os equinóides em Niterói tendem a ter carapaças mais pesadas do que os de Arraial do Cabo, sugerindo a influência do hidrodinamismo nessa área. Um esqueleto mais pesado confere mais estabilidade ao animal, evitando deslocamentos e gasto de energia adicional. MARCUS (1983) cita que carapaças pesadas podem representar uma adaptação à intensa ação das ondas e isso envolveria uma resposta alternativa para algumas espécies.

A variação no formato da carapaça parece não ser uma resposta apenas ao movimento das ondas. Os equinodermos também apresentam uma relação inversa entre tamanho da carapaça e densidade populacional, como citaram MCSHANE & ANDERSON (1997). Desse modo, a tendência dos equinóides amostrados exibirem carapaças maiores em Niterói poderia ser explicada pela menor densidade populacional encontrada neste local, que apesar de não ter sido aferida por um método específico, foi notada.

Outra resposta que precisa ser investigada refere-se a sobrevivência do animal citada por EBERT (1996), onde o encolhimento da carapaça de um equinóide seria explicado pelo fato de indivíduos menores necessitarem de menos recursos para sobreviver. Porém, o mesmo autor sugere que o fator que mais influencia a variação de tamanho dos componentes corporais de ouriços-do-mar parece ser a disponibilidade alimentar.

Dessa forma, o fato dos indivíduos amostrados em Niterói possuírem demi-pirâmides mais altas do que os amostrados em Arraial do Cabo pode estar relacionado à disponibilidade de alimento.

EBERT (1980, 1996) sugere que mudanças no tamanho da lanterna de Aristóteles podem ocorrer em resposta à disponibilidade alimentar no ambiente. Dessa forma, o comprimento da demi-pirâmide se torna relativamente maior quando o alimento é escasso, e menor quando é abundante. A interpretação dada é que uma lanterna grande possibilita a maior obtenção de alimento e isto, provavelmente, auxiliaria na sobrevivência do animal. Essa hipótese foi testada e confirmada em laboratório e no campo para os ouriços regulares, *Strongylocentrotus purpuratus* (Stimpson, 1857) e *Echinometra mathaei* Blainville, 1825 (EBERT, 1996).

LEVITAN (1991) também observou essa relação entre a lanterna de Aristóteles e a disponibilidade de alimento em *Diadema antillarum* Philippi, 1845. Quando o alimento é limitado, a energia disponível diminui, assim mais energia é alocada para o crescimento da lanterna de Aristóteles do que da carapaça. Dessa forma, o tamanho da carapaça e da lanterna de Aristóteles é uma ferramenta importante para descrever as condições alimentares em populações de ouriços-do-mar (LEVITAN, 1991).

As diferenças encontradas nos índices intestinais dentro e entre as populações estudadas de *Arbacia lixula* podem também estar relacionadas à disponibilidade alimentar nas duas localidades estudadas. Mas, para que essa hipótese seja confirmada, é necessário analisar o conteúdo intestinal desses animais e compará-lo com as densidades das presas nos ambientes.

A alimentação é determinada pela disponibilidade alimentar e pela capacidade do animal de encontrar, obter e ingerir diferentes alimentos (GEORGE *et al.* 1990). A espécie *Arbacia lixula* alimenta-se por raspagem do substrato consumindo preferencialmente as

algas incrustantes, principalmente as algas vermelhas e marrons (JANGOUX & LAWRENCE, 1982; GEORGE *et al.* 1990; BULLERI *et al.* 1999). Por outro lado, a onivoria é descrita para todas as espécies de *Arbacia*, como citaram PENCHASZADEH & LAWRENCE (1998). TAVARES (2004), evidencia o hábito carnívoro de *A. lixula*. HAY *et al.* (1986) sugerem que *Arbacia punctulata* (Lamarck, 1816) não escolhe seu alimento e incontroladamente consome tudo que encontra. Observações laboratoriais e análises do conteúdo intestinal mostraram que a dieta de *A. punctulata* pode variar de algas e esponjas até pequenos peixes e outras espécies de equinóides congêneros (JANGOUX & LAWRENCE, 1982). Dietas inadequadas podem afetar a fecundidade, a fertilização e a viabilidade larval em equinodermos (GEORGE *et al.* 1990).

Variações no tamanho e na quantidade de matéria orgânica dos ovócitos devem ser atribuídas a diferenças na disponibilidade alimentar e podem ocorrer tanto entre os gametas de um indivíduo, quanto entre os indivíduos de uma população e indivíduos de populações diferentes (GEORGE *et al.* 1990). Os mesmos autores compararam duas populações de *Arbacia lixula* na França e mostraram que a produção de ovócitos mais ricos em proteínas e lipídeos de uma localidade estava relacionada com a abundância no suprimento de algas desta região. As larvas de ovócitos ricos em componentes orgânicos crescem e se desenvolvem mais rápido, tendo assim mais chance de sobreviver na coluna d'água (GEORGE *et al.* 1990).

Em equinóides, as gônadas são consideradas como o componente mais plástico do corpo, apresentando a habilidade de crescer rapidamente em tamanho como resposta ao aumento dos recursos alimentares (RUSSEL, 1998). Entretanto, em estudo realizado na Nova Zelândia com *Evechinus chloroticus* Valenciennes, 1846 nenhuma diferença no tamanho das gônadas foi relacionada com a disponibilidade de alimentos (MCSHANE & ANDERSON, 1997).

A reprodução sexuada é bastante freqüente em equinodermos. Em geral, as espécies são dióicas e machos e fêmeas ocorrem em proporções iguais nas populações (LAWRENCE, 1987). Da mesma forma como foi observada para outras populações de equinóides no litoral brasileiro, a proporção sexual de machos e fêmeas verificada nas populações estudadas de *Arbacia lixula* não diferiu da esperada (1:1) (BARCELLOS, 2004; MACCORD & VENTURA, 2004). O equilíbrio sexual aumenta as chances da fertilização externa, garantindo assim o sucesso reprodutivo em uma população. Mas nem sempre a razão 1:1 é encontrada. O desequilíbrio sexual foi descrito para o asteróide fissíparo, *Coscinasterias tenuispina* (Lamarck, 1816), na Ponta de Itaipu, onde apenas indivíduos machos foram encontrados. Esse fato sugere que essa população está sendo mantida pela reprodução assexuada (ALVES *et al.* 2002). Contudo, é importante ressaltar que o desequilíbrio sexual não ocorre apenas em espécies que sofrem fissão. GUETTAF *et al.* (2000) também registraram o desequilíbrio da razão sexual em *Paracentrotus lividus* (Lamarck, 1816) no Mediterrâneo, onde as fêmeas predominaram em proporções de até 3:1.

O índice gonadal é um método aplicado para aferir mudanças sazonais no ciclo reprodutivo de equinodermos e tem sido utilizado por muitos autores (LESSIOS, 1981; PEARSE *et al.* 1986; BYRNE, 1990 e 1992; SPIRLET *et al.* 1998; RAMOFAFIA *et al.* 2000; CARVALHO & VENTURA, 2002; MACCORD & VENTURA, 2004). Porém, apenas esse parâmetro não é suficiente para descrever o ciclo reprodutivo de um equinóide (SPIRLET *et al.* 1998). Por ser considerado um órgão de reserva, as variações do índice gonadal, muitas vezes, não estão relacionadas aos estágios gametogênicos. A análise histológica das gônadas e o índice de maturidade fornecem mais informações essenciais sobre o estado destes órgãos.

A densidade populacional também pode afetar os valores do índice gonadal. Geralmente, os maiores índices gonadais foram encontrados para espécies em baixas densidades populacionais (ANDREWS, 1986). Isso poderia explicar as altas médias encontradas para o índice gonadal de *Arbacia lixula* em Niterói, já que a densidade desses equinóides nessa área é aparentemente mais baixa do que em Arraial do Cabo.

Um ciclo reprodutivo anual com liberação de gametas em outubro e novembro foi descrito para *Arbacia lixula* por TAVARES *et al.* (2004) no Paraná, Brasil. No entanto, os autores basearam-se apenas no índice gonadal e em mudanças bioquímicas encontradas nas gônadas.

Contrariando o que indica o índice gonadal e o relato de TAVARES *et al.* (2004), as populações de *Arbacia lixula* amostradas neste estudo sugerem que a espécie deve possuir um ciclo reprodutivo contínuo e rápido, com constante produção e liberação de gametas. Uma reprodução contínua pode explicar a assincronia nos estágios gametogênicos entre esses indivíduos. A estratégia reprodutiva de constante liberação de gametas resulta na redução dos riscos associados à fase planctônica das larvas, compensando a mortalidade larval, e no aumento do recrutamento anual da espécie (GUETTAF *et al.* 2000).

A continuidade no ciclo reprodutivo também foi descrita para outras espécies de equinóides no litoral brasileiro. Um alto percentual de liberação de gametas foi observado para *Lytechinus variegatus* (Lamarck, 1816) na Praia do Forte, Cabo Frio (JUNQUEIRA, 1998). A assincronia na reprodução também foi descrita para *Echinometra lucunter* em Arraial do Cabo e Abrolhos (VENTURA *et al.* 2001). Outro relato importante foi o observado para a espécie *Cassidulus mitis* Krau, 1954, um ouriço irregular que também apresentou um ciclo reprodutivo contínuo e rápido no litoral do Rio de Janeiro (MACCORD & VENTURA, 2004).

Um ciclo reprodutivo contínuo com predominância de indivíduos maduros foi descrito para *Arbacia lixula* no Paraná (TAVARES, 2004). A continuidade da reprodução reflete um grande investimento energético em produção e liberação de gametas. Isso poderia explicar a ocorrência de ovócitos menores em *A. lixula*, comparado ao de *Echinometra lucunter* (Linnaeus, 1758), espécie que libera gametas apenas no outono e produz ovócitos com diâmetros maiores no Paraná (TAVARES, 2005). Por outro lado, o tamanho dos ovócitos parece estar mais relacionado ao desenvolvimento larval do que com a fertilização, já que as duas populações de *A. lixula* com diferentes diâmetros médios de ovócitos estudadas por GEORGE *et al.* (1990) tiveram 100% de fertilização dos ovos. Relacionando esse resultado com o estudo atual, pode-se esperar que os gametas de *A. lixula* na Prainha e na Ponta de Itaipu tenham grandes chances de fertilização na coluna d'água, independente do tamanho dos ovócitos liberados por essas populações.

A distribuição de tamanho dos ovócitos também é importante quando comparada à gametogênese. Ovócitos maiores que 75 μm foram encontrados em meses onde predominaram os estágios maduro, de liberação e vazio nas fêmeas de *Arbacia lixula*. Por outro lado, ovócitos menores que 25 μm foram encontrados principalmente em meses onde as fêmeas estavam em recuperação, crescimento e liberação. Estes dados ratificam a ocorrência de um ciclo reprodutivo rápido e contínuo para *A. lixula*, onde ovócitos pequenos são produzidos simultaneamente com a liberação de ovócitos maiores. A análise da distribuição de tamanho dos ovócitos de *A. lixula* no presente estudo demonstra que os diâmetros dos ovócitos dessa espécie não ultrapassam 85 μm . Muitas espécies de equinóides regulares possuem diâmetros de ovócitos maiores que 100 μm , como *Lytechinus variegatus*, *Strongylocentrotus droebachiensis* (Müller, 1776) e *S. franciscanus* (Agassiz, 1863) (TYLER, 2003; WESSEL *et al.* 2004). No entanto, ovócitos menores que 100 μm também foram encontrados em populações de *A. lixula* no Paraná (TAVARES,

2004) e em populações de *A. punctulata* nos Estados Unidos (TYLER, 2003). Dessa forma, conclui-se que, geralmente, as espécies do gênero *Arbacia* produzem ovócitos relativamente pequenos.

As variações na gametogênese de *Arbacia lixula* ocorridas em Arraial do Cabo e Niterói parecem ser diretamente influenciadas por fatores ambientais. BYRNE (1990) sugere que a temperatura da água e o fotoperíodo interferem no desenvolvimento gonadal de *Paracentrotus lividus* no Mediterrâneo. No México, também foi descrito o controle que o fotoperíodo exerce nas atividades gametogênicas de *Strongylocentrotus purpuratus* (PEARSE *et al.* 1986). Na Austrália, *Centrostephanus rodgersii* (Fletcher, 1987), assim como outros diadematóides, sofre influência direta do ciclo lunar (BYRNE *et al.* 1998). Já LESSIOS (1981) cita a influência de diferentes latitudes na periodicidade reprodutiva dos equinóides, quanto mais distante do Equador maior a sincronia da reprodução.

Além dos equinóides, os fatores abióticos parecem influenciar o desenvolvimento de outros grupos de equinodermos. RAMOFAFIA *et al.* (2000) citam que além do fotoperíodo e da temperatura, fatores como a velocidade da água, salinidade e aumentos (“blooms”) de fitoplâncton podem controlar a gametogênese e a liberação de gametas em pepinos-do-mar. Para as estrelas-do-mar *Patiriella gunni* Gray, 1840 e *P. calcar* (Lamarck, 1816), na Austrália, a liberação de gametas coincide com o aumento da temperatura. Mas, por outro lado, tais espécies não parecem sofrer influência do fitoplâncton, pois suas larvas não se alimentam (BYRNE, 1992). Já outro asteróide, *Asterina stellifera* (Möbius, 1859), na região de Cabo Frio, parece sofrer forte influência da quantidade e qualidade do plâncton dessa região. A liberação das larvas planctotróficas parece coincidir com períodos de ressurgência, o que favorece a alimentação das larvas na coluna d’água (CARVALHO & VENTURA, 2002).

Porém, a hipótese de que os fatores ambientais exerçam alguma influência no ciclo gametogênico de *Arbacia lixula* é apenas sugerida. Experimentos ecológicos de manipulação devem ser realizados para aferir a influência dos fatores ambientais no desenvolvimento dessa espécie.

As diferenças encontradas para a coloração das gônadas em *Arbacia lixula* parecem estar relacionadas ao sexo dos indivíduos. Em todos os estágios gametogênicos foram observadas gônadas escuras para fêmeas, variando de vinho a pretas, e claras para machos, variando de branca a bege. A liberação dos gametas antes da fixação foi um fator que auxiliou nessa observação.

A cor das gônadas de ouriços-do-mar é um importante critério para a qualidade comercial de uma espécie (LAWRENCE *et al.* 2001). As espécies comerciais apresentam gônadas com coloração amarela ou laranja, consideradas mais palatáveis. *Arbacia lixula* e outros equinóides da família Arbacioida apresentam gônadas com coloração escura e por esse motivo não são muito comercializados. O consumo dessas espécies foi registrado em alguns países no Mediterrâneo, mas em baixa escala, principalmente quando comparado ao de *Paracentrotus lividus*, uma espécie amplamente difundida na indústria pesqueira (LAWRENCE & BAZHIN, 1998).

A pigmentação dos alimentos parece ter uma influência direta na cor das gônadas de ouriços-do-mar. Provavelmente, uma mudança nos níveis de carotenóides das dietas pode alterar essa coloração. Dessa forma, a produção de uma alimentação adequada é uma das principais etapas para o sucesso da aquacultura (LAWRENCE *et al.* 2001; OTERO & KELLY, 2002). Por outro lado, cores fortes ou aposemáticas podem indicar a presença de um metabolismo secundário, toxicidade ou defesa, quando alertam os predadores. No caso de *Arbacia lixula*, parece que a coloração forte evitaria a predação de ovos liberados na coluna d'água (LAWRENCE & BAZHIN, 1998).

A epibiose observada nos indivíduos coletados de *Arbacia lixula* nas populações da Prainha e da Ponta de Itaipu parece não ser uma particularidade dessa espécie. *Eucidaris tribuloides* (Lamarck, 1816), *Ctenocidaris spinosa* (Koehler, 1926) e *Rhynchocidaris triplora* (Mortensen, 1909) também apresentam constantemente epibiontes incrustados em seus espinhos (HÉTÉRIER *et al.* 2004; HOPKINS *et al.* 2004). A assentamento de epibiontes nos espinhos dos cidaróides pode ser explicado pela ausência de um epitélio ao longo desses espinhos, o que torna o local um substrato adequado para crescimento de espécies oportunistas (HÉTÉRIER *et al.* 2004). Já HOPKINS *et al.* (2004) atribuem o aparecimento dos epibiontes à falta de uma defesa química contra a colonização dos espinhos. O tamanho dos espinhos parece ter uma relação positiva com o assentamento de epibiontes, pois, além de serem mais facilmente encontrados por larvas planctônicas, os espinhos maiores facilitam o acesso das larvas a coluna d'água. Em *C. spinosa* e *R. triplora*, as esponjas e briozoários foram os grupos dominantes (HÉTÉRIER *et al.* 2004). Já em *A. lixula*, predominaram as cracas.

As diferenças morfológicas e fisiológicas encontradas dentro e entre as populações de *Arbacia lixula* em Arraial do Cabo e Niterói sugerem uma forte influência do ambiente sobre essa espécie. Estariam essas diferenças sugerindo a ocorrência de plasticidade fenotípica neste equinóide? Por outro lado, as semelhanças encontradas entre os ciclos gametogênicos de *Arbacia lixula* nas áreas estudadas sugerem a ocorrência de fluxo gênico entre essas populações. O fenômeno de ressurgência em Cabo Frio não estaria funcionando como uma barreira biogeográfica para as larvas desses equinóides? Essas hipóteses precisam ser testadas e confirmadas por experimentos de manipulação e estudo de genética de populações antes de qualquer atividade de exploração comercial ou manejo dessa espécie.

7 – Conclusões

- Os resultados do presente trabalho sugerem forte influência do ambiente sobre a biologia de *Arbacia lixula* em Arraial do Cabo e Niterói.
- Foram encontradas diferenças entre os caracteres morfológicos: diâmetro, altura e peso da carapaça. Essas diferenças sugerem a ocorrência de plasticidade fenotípica nas populações estudadas de *A. lixula*.
- As diferenças verificadas entre o comprimento da demi-pirâmide e o diâmetro da carapaça, e nos índices intestinais entre as populações de Arraial do Cabo e Niterói sugerem que a disponibilidade alimentar nessas áreas é desigual.
- O ciclo reprodutivo de *A. lixula* em Arraial do Cabo e Niterói é contínuo e rápido, ocorrendo produção e liberação de gametas praticamente o ano todo.
- Nas áreas estudadas, indivíduos machos de *A. lixula* são capazes de estocar gametas maduros antes da liberação. O mesmo parece não ocorrer nas fêmeas.
- As semelhanças entre os ciclos gametogênicos sugerem a ocorrência de fluxo gênico entre os equinóides nas áreas estudadas.

8 - Referência Bibliográficas

- Alves, S.L.S.; Pereira, A.D. & Ventura, C.R.R. 2002. Sexual and asexual reproduction of *Coscinasterias tenuispina* (Echinodermata: Asteroidea) from Rio de Janeiro, Brazil. **Marine Biology**, **140**: 95 – 101.
- Andrews, N. L. 1986. The interaction between diet and density in influencing reproductive output in the echinoid *Evechinus chloroticus* (Val.). **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology**, **97**: 63 - 79.
- Barcellos, C.F. 2004. **Variações morfológicas e reprodutivas de *Paracentrotus gaimardi* (Blainville, 1825) (Echinodermata: Echinoidea) em três populações na costa brasileira**. 55 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas - Zoologia) - Programa de Pós Graduação em Ciências Biológicas (Zoologia), Museu Nacional, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- Brusca, R.C. & G.J. Brusca. 1990. **Invertebrates**. Massachusetts: Sinauer Associates. 922 p.
- Bulleri, F.; Cecchi, L.B. & Cinelli, F. 1999. Grazing by the sea urchins *Arbacia lixula* L. e *Paracentrotus lividus* Lam. in the northwest Mediterranean. **Journal of Experimental of Marine Biology and Ecology**, **241**: 81 – 95.
- Byrne, M. 1990. Annual reproductive cycles of the commercial sea urchin *Paracentrotus lividus* from an exposed intertidal and a sheltered subtidal habitat on the west coast of Ireland. **Marine Biology**, **104**: 275-289.
- Byrne, M. 1992. Reproduction of sympatric populations of *Patiriella gunni*, *P. calcar* and *P. exigua* in New South Wales, asterinid seastars with direct development. **Marine Biology**, **114**: 297 – 316.

- Byrne, M.; Andrew, N.L. & Worthington, D.G. 1998. Reproduction in the diadematoïd sea urchin *Centrostephanus rodgersii* in contrasting habitats along the coast of New South Wales, Australia. **Marine Biology**, **132**: 305 – 318.
- Callegari - Jacques, S.M. 2004. **Bioestatística: princípios e aplicações**. Porto Alegre: Artmed, 255 p.
- Carbonel, C.A.A.H. & Valentin, J.L. 1999. Numerical modeling of phytoplankton bloom in the upwelling ecosystem of Cabo Frio (Brazil). **Ecological Modelling**, **116**: 135 – 148.
- Carbonel, C.A.A.H. 2003. Modelling of upwelling-downwelling cycles caused by variable Wind in a very sensitive coastal system. **Continental Shelf Research**, **23**: 1559 – 1578.
- Carvalho, A.L.P.S & Ventura, C.R.R. 2002. The reproductive cycle of *Asterina stellifera* (Mobius) (Echinodermata: Asteroidea) in the Cabo Frio region, southeastern Brazil. **Marine Biology**, **141**: 947 – 954.
- Ebert, T. A. 1980. Relative growth of sea urchin jaws: an example of plastic resource allocation. **Bulletin of Marine Science**, **30**(2): 467-474.
- Ebert, T.A. 1996. Adaptive aspects of phenotypic plasticity in echinoderms. **Oceanologia ACTA**, **19** (3-4): 347 - 355.
- George, S.B.; Cellario, C. & Fenaux, L. 1990. Population differences in egg quality of *Arbacia lixula* (Echinodermata: Echinoidea): proximate composition of eggs and larval development. **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology**, **141**: 107 – 118.
- Guettaf, M., San Martin, G. & Francour, P. 2000. Interpopulation variability of the reproductive cycle of *Paracentrotus lividus* (Echinodermata: Echinoidea) in the

- southwestern Mediterranean. **Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom**, **80**: 899-907.
- Guimaraens, M.A. & Coutinho, R. 1996. Spatial and temporal variation of benthic marine algae at the Cabo Frio upwelling region, Rio de Janeiro, Brazil. **Aquatic Botany**, **52**: 283 - 299.
- Guimaraens, M.A. & Coutinho, R. 2000. Temporal and spatial variation of *Ulva* spp. and water properties in the Cabo Frio upwelling region of Brazil. **Aquatic Botany**, **66**: 101 – 114.
- Hay, M.E.; Lee, R.R.J. & Guieb, R.A. 1986. Food preference and chemotaxis in the sea urchin *Arbacia punctulata* (Lamarck) Philippi. **Journal of Experimental of Marine Biology and Ecology**, **96**: 147 – 153.
- Hétériér, V.; De Ridder, C.; David, B. & Rigaud, T. 2004. Comparative biodiversity of ectosymbionts in two Antarctic cidaroid echinoids, *Ctenocidaris spinosa* and *Rhynchocidaris triplora*. In: Heinzeller & Nebelsick (Ed.) **Echinoderms: Munchen**. London. p.201 – 205.
- Hill, S.K. & Lawrence, J.M. 1999. Effects of food and temperature on the energy budget of *Arbacia punctulata* and *Lytechinus variegates*. **Echinoderm Research** **1998**. 73 - 78.
- Hill, S.K. & Lawrence, J.M. 2003. Habitats and characteristics of the sea urchins *Lytechinus variegates* and *Arbacia punctulata* (Echinodermata) on Florida Gulf-Coast Shelf. **Marine Ecology Progress Series**, **241**: 15-30.
- Hopkins, T.S.; Thompson, L.E.; Walker, J.M & Davis, M. 2004. A study of epibiont distribution on the spines of the cidaroid sea urchin, *Eucidaris tribuloides* (Lamarck, 1816) from the shallow shelf of the eastern Gulf of Mexico. In: Heinzeller & Nebelsick (Ed.) **Echinoderms: Munchen**. London. p.207 – 211.

- Jangoux, M. & Lawrence, J. M. 1982. Food and feeding mechanisms: Echinoidea. In: **Echinoderm Nutrition**. Rotterdam: Balkema. p. 57 – 115.
- Junqueira, A.O.R. 1998. **Biologia populacional de *Lythechinus variegatus* (Lamarck, 1816) em habitats contrastantes do litoral do Rio de Janeiro, Brasil**. 154p. Tese (Doutorado em Ciências na Área Zoologia). Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- Lawrence, J. M. 1987. **A functional biology of echinoderms**. Baltimore: The John Hopkins University Press. 340p.
- Lawrence, J.M. & Bazhin, A. 1998. Life – history strategies and the potential of sea urchins for aquacultures. **Journal of Shellfish Research**, **17** (5): 1515 – 1522.
- Lawrence, J.M. 2001. In: Lawrence, J.M. (Ed.) **Edible Sea Urchins: Biology and Ecology**. Developments in Aquaculture and Fisheries Science, 32. Elsevier.
- Lawrence, J.M.; Lawrence, A.L.; McBride, S.C.; George, S.B.; Watts, S.A. & Plank, L.R. 2001. Developments in the use of prepared feeds in sea-urchin aquaculture. **World Aquaculture**, **32** (2): 34 – 39.
- Lessios, H.A. 1981. Reproductive periodicity of the echinoids *Diadema* and *Echinometra* on the two coasts of Panama. **Journal of Experimental of Marine Biology and Ecology**, **50**: 47 – 61.
- Lessios, H.A; Kessing, B.D; Robertson, D.R. & Paulay, G. 1999. Phylogeography of the pantropical sea urchin *Eucidaris* in relation to land barriers and ocean currents. **Evolution**, **51**(1): 806-817.
- Levitan, D. R. 1991. Skeletal changes in the test and jaws of the sea urchin *Diadema antillarum* in response to food limitation. **Marine Biology**, **111**: 431-435.

- Lozano, J.; Galera, J.; Lopez, S.; Turon, X.; Palacin, C.; Morera, G. 1995. Biological cycles and recruitment of *Paracentrotus lividus* (Echinodermata: Echinoidea) in two contrasting habitats. **Marine Ecology Progress Series**, **122**: 179-191.
- Marcus, N.H. 1980. Genetics of morphological variation in geographically distant populations on the sea urchin, *Arbacia punctulata* (Lamarck). **Journal Experimental of Marine Biology and Ecology**, **43**: 121-130.
- Marcus, N. H. 1983. Phenotypic variability in echinoderms. **Echinoderms studies**, **1**: 19-37.
- MacCord, F.S.; Ventura, C.R.R. 2004. Reproductive cycle of endemic cassiduloid *Cassidulus mitis* (Echinoidea: Cassiduloida) on the Brazilian coast. **Marine Biology**, **145**: 603-612.
- Marsh, A.G. & Watts, S.A. (2001). Energy Metabolism and Gonad Development. *In*: Lawrence, J.M. (Ed.) **Edible Sea Urchins: Biology and Ecology**. Developments in Aquaculture and Fisheries Science, 32: Elsevier. 27 - 42.
- McShane, P. E.; Anderson, O. F. 1997. Resource allocation and growth rates in the sea urchin *Evechinus chloroticus* (Echinodermata: Echinoidea). **Marine Biology**, **128**: 657-663.
- Otero, M.M. & Kelly, M.S. 2002. Sea urchin cultivation: controlling energy flow between somatic and gonadal growth. **World Aquaculture**, **33**(2): 43-50.
- Pearse, J.S.; Pearse, V.B. & Davis, K.K. 1986. Photoperiodic regulation of gametogenesis and growth in the sea urchin *Strongylocentrotus purpuratus*. **The Journal of Experimental Zoology**, **237**: 107 – 118.
- Penchaszadeh, P. & Lawrence, J.M. 1998. *Arbacia dufresnei* (Echinodermata: Echinoidea): a carnivore in Argentinean waters. *In*: Carnevalli, C. & Bonasoro (Eds.) **Echinoderm Research 1998**. Rotterdam: Balkema. p.525 - 529.

- Pigliucci, M. 2001. **Phenotypic plasticity: beyond nature and nurture**. Baltimore: The Johns Hopkins University Press. 328p.
- Ramofafia, C.; Battaglione, S.C.; Bell, J.D. & Byrne, M. 2000. Reproductive biology of the commercial sea cucumber *Holothuria fuscogilva* in the Solomon Islands. **Marine Biology**, **136**: 1045 – 1056.
- Roccheri, M. C.; Sconzo, G.; Rosa, M.L.; Oliva, D.; Abrignari, A. & Giudice, G. 1986. Response to heat shock of different sea urchin species. **Cell Differentiation**, **18**: 131 – 135.
- Russel, M. P. 1998. Resource allocation plasticity in the sea urchins: rapid diet induced, phenotypic changes in the green sea urchin *Strongylocentrotus droebachiensis* (Müller). **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology**, **220**: 1-14.
- Silva, E.P. 2002. Especiação no ambiente marinho. In: Pereira, A.C. & Soares-Gomes, A (Eds.) **Biologia Marinha**. Rio de Janeiro: Interciência. p. 35 – 47.
- Spirlet, C., Grosjean, P. & Jangoux, M. 1998. Reproductive cycle of the echinoid *Paracentrotus lividus*: analysis by means of the maturity index. **Invertebrate Reproduction and Development**, **34** (1): 69-81.
- Spirlet, C.; Grosjean, P. & Jangoux, M. 1998. Optimizing food distribution in closed-circuit cultivation of edible sea urchins (*Paracentrotus lividus*: Echinoidea). **Aquatic Living Resources**, **11** (4): 273 – 277.
- Tavares, Y.A.G.; Kawall, H.G. & Borzone, C.A. 2004. Biochemical changes in the gonads in relation to the reproductive cycle of *Echinometra lucunter* and *Arbacia lixula* in southern Brazil. In: Lawrence, J.M. & Gusman, O. (Ed.) **Sea Urchins: Fisheries and Ecology**. Lancaster: Destech Publications. p.147-155.

- Tavares, Y. A. G. 2004. **Biologia reprodutiva de equinóides em diferentes hábitats no litoral paranaense**. 191p. Tese (Doutorado em Zoologia). Centro de Estudos do Mar, Universidade Federal do Paraná, Paraná.
- Tommasi, L.R. 1966. Lista dos equinóides recentes do Brasil. **Contribuições avulsas do Instituto de Oceanográfico**. Universidade de São Paulo. 11: 1-50.
- Tyler, M.S. 2003. **Development Biology**: a guide for experimental studies. 3^a ed. Sunderland: Sinauer Association.
- Ventura, C.R.R; Varotto, R.S; Carvalho, A.L.P.S; Pereira, A.D; Alves, S.L.S. & Maccord, F.S. 2001. Interpopulation comparison of the reproductive and morphological traits of *Echinometra lucunter* (Echinometra: Echinoidea) from two different habitats on Brazilian coast. **Echinoderm Research 2001**.
- Ventura, C.R; Barcellos, C.F. 2004. Instantaneous comparison of reproductive and morphological traits of *Paracentrotus gaimardi* (Echinodermata: Echinoidea) along the Brazilian coast. In: Lawrence, J.M. & Gusman, O. (Eds.) **Sea Urchins: Fisheries and Ecology**. Lancaster: Destech Publications. p.156-163.
- Walker, C. W., Unuma, T., McGinn, N. A., Harrington, L.M. & Lesser. M. P. (2001). Reproduction of sea urchins. In: Lawrence, J.M. (Ed.) **Edible Sea Urchins: Biology and Ecology**. Developments in Aquaculture and Fisheries Science, 32. Elsevier. 5 - 26.
- Wares, P.J; Gaines, S.D; Cunningham, C.W. 2001. A comparative study of asymmetric migration events across a marine biogeographic boundary. **Evolution**, **55**(2): 295-306.
- Wessel, G.M.; Voronina, E. & Brook, J.M. 2004. Obtaining and handling Echinoderm oocytes. In: Etensohn, C.A, Wessel, G.M. & Wray, G.A. (Eds.) **Development of**

sea urchins, ascidians and other invertebrate deuterostomes: experimental approaches. California: Elsevier. p.87 – 114.

Zar, J.H. 1984. Biostatistical Analysis. New York: Prentice Hall. 718p.